疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス ①

実用基礎編

東芝自動化推進グループ
川井秀夫
渡辺清司
石野宏
林保
塩野入好夫

技術評論社

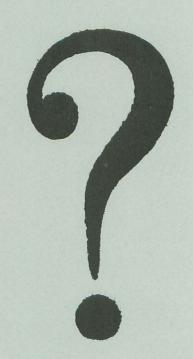
¥1500

疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス①

《実用基礎編》

東芝自動化推進グループ著
川井秀夫
石野宏
塩野入好夫
渡辺清司
林保

監修
大泉淳
梶原正弘
大庭喜三

技術評論社

監修者序

最近，わが国の機械，電気，化学など各工業分野において，生産性向上のための省力化・自動化が急速に進んでいます.

これは人間の長い歴史における諸産業分野に従事するひとびとの最大の願いである無人化設備への努力の一課程に他なりません.

約 4,000 年前，人間の労働力軽減のため，てこ，滑車，くさびなどが考案され，それらはひとの力を倍加することを可能にし，あの偉大なエジプトのピラミッドの建設に利用されたと推測されています.

わたくしたちは，ここに機械工学の基礎となる機械力学の発祥を見ます.

電気は18世紀の有名なベンジャミン・フランクリンの実験による電気火花と稲妻の関係の発見に到るまで利用されませんでしたが，その後の電気工学の進歩は目ざましく，20世紀になって電気による力の利用の時代を経て，いよいよ人間の頭脳に代る人工頭脳を電気(電子) の回路技術 (エレクトロニクス) を利用して完成しようとする時代に入ってきました.

情報化，多様化，高度化に向うに従い，機械とエレクトロニクスの結合した装置が作られ，利用されることが次第に必要になり，また多くなってきました.

しかしながら，発祥の歴史が異なるということは，機械とエレクトロニクスの双方の分野を理解して，これを駆使することが非常にむづかしいことを意味しています.

その意味で機械とエレクトロニクスの関係をかみくだいて説明した解説書が待望されていました.

「機械は機械のベテランが，電気は電気のベテランが」という時代から「機械もエレクトロニクスもこなせる技術者」

が要求される時代に変りつつあり，機械と電子回路（エレクトロニクス）が一体となって新製品を開発し，あるいは生産設備を整備しなければ世界の企業競争には打ち勝つことができなくなったということは誰の目にも明らかです．

言い換えれば，今後の技術者は各専門分野の多様化に従い，これに精通するとともに，技術全般について広い視野で関連の技術が使いこなせることが要求されています．

生産技術の面から見ても多種少量生産の合理化にはＮＣ装置，測定検査の自動化，さらに電算機を駆使する群管理，工程管理などを考えねばなりませんが，これらは何れもエレクトロニクスを応用した機械によるものです．

本書はこの時代に適応して，エレクトロニクスをこなせる機械技術者を志す諸氏を対象に，特に半導体関係に従事する技術者の中から電子回路に精通した機械技術者と機械に精通した電気技術者が互いに協力して執筆しています．

機械と電子――この目に見えるものと見えないもの――に対し，機械技術者諸氏が電子の働きを平易に理解できるように工夫執筆されているため，エレクトロニクスの基本をマスターすることができると確信します．

さらに次のステップとして高度の電子回路技術を身につければ，エレクトロニクスを駆使できる技術者として，来たるべき時代に飛躍し，社会の発展に寄与する技術者になられるものと信じます．

1972年6月　　　　　東芝／生産技術研究所

所長／大泉　淳

執筆者序

産業の各分野で活躍している各種装置の内部では，エレクトロニクスの技術を基礎とした電子回路が，重要な役割を果しています.

これらの装置を取り扱うとき，機械技術者といえども，エレクトロニクス技術の理解を要求される機会も多く，さらにはこの技術の上に立つ電子回路機器を利用したり，簡単な電子回路を製作する必要に迫まられる場合も多くなってきています.

ところで，私たちがエレクトロニクスの技術や電子回路を勉強しようとするとき，まわりに簡便な実用書を見い出すことができないため，どうしても，理論書をその手引とせざるを得ませんでした.

しかし，機械技術者にとって，このようにして学ばれた理論は，目の前に置かれた電子回路装置となかなか一体感をもって理解されることは困難ではなかったかと思います.

私は日頃より，エレクトロニクスの技術を実用化していく段階として，理論から勉強を始めることよりも，まず，実用的な知識の習得を行なった後に，現象理論や応用理論を学んだ方が良いと，機械技術者の立場から考えていました.

このように，機械技術者がエレクトロニクスを学ぶ効果的な学習方法について考えていた折，技術評論社から出版の機会が与えられ，今回，機械技術者の目で見たエレクトロニクスの技術を，実用書としてまとめることに努めました.

上巻（実用基礎編）には，エレクトロニクスの回路に使われる部品，および回路の動作を確認する電気測定器について述べています.

また下巻（応用実際編）には，これらの部品を使っての基

礎回路と応用回路について述べています．

読者諸氏は，この書を根として向上され，願わくは，機械のエレクトロニクスに関しては，電気技術者の手を煩わさずに対処できるようになることを望みます．

終りに，本書の出版に当たり，何かとお世話頂きました，大泉淳氏，大庭喜三氏，並びに執筆を御指導頂きました梶原正弘氏に，厚く御礼申し上げます．

1972年6月

執筆者代表

川　井　秀　夫

監修者

東芝・生産技術研究所
所長　大泉　淳

東芝・(電子)生産技術部
部長　梶原正弘

東芝・生産技術研究所
自動化推進部　大庭喜三

執筆者　東芝・自動化推進グループ

東芝・(電子)生産技術部
主務　川井秀夫

東芝・(電子)生産技術部
石野　宏

東芝・(電子)生産技術部
塩野入好夫

東芝・(電子)第一集積回路技術部
主務　渡辺清司

東芝・(電子)第一集積回路技術部
林　保

疑問にこたえる機械のエレクトロニクス ①

《実用基礎編》

も　く　じ

第1話　エレクトロニクスとは何か？

第2話　いろいろな場での電子の働き

第3話 疑問にこたえるエレクトロニクスの電子部品

第4話　エレクトロニクスの電子部品のシンボルと働き

その1§ 電装材料のシンボルと働き

その4§ 能動素子のシンボルと働き

第5話　電気を見る！　やさしい計器の使い方

その1§ 指示計器の使い方

その2§ テスターの使い方

その3§ 記録計の使い方

その4§ エレクトロニクスにかかせぬオシロスコープ

疑問にこたえる機械のエレクトロニクス ②

《応用実際編》

もくじ案内

ELECTRO-NICS

疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス・1

《実用基礎編》

第1話　エレクトロニクスとは何か？

第1話では，エレクトロニクスが機械のどのような分野で応用されているかをお話しします．

本書によって，私たちが勉強していくエレクトロニクスの基礎が，あらゆる分野で応用が可能であり，エレクトロニクスを導入することによって，機械がいかに簡潔に組み立てられるか，それ以上に，機械では処理できない超能力を発揮するかがお判りになると思います．

では，このようなエレクトロニクスとは何でしょうか？

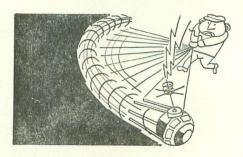
しかし，改まってたずねますと，なかなか明解なこたえをしてくれる人は少ないようですが，ここでは一応，次のような定義をしておきましょう．

「エレクトロニクスとは，電子が，真空，ガス，導体，半導体の中で，動き，作用することについての技術」

であると……

第1話　§その1
制御するもの・されるもの

☞　私たちの意志や行動をも含めて，電気の流れる系路や機械力の伝わる系路などを私たちは，信号のやり取りであると解釈することができます．

この信号のやり取りには，必ず，制御するもの（制御主体）と，制御されるもの（制御対象）の相対関係があります．

1.1　電気の流れ・機械力・人間の意志は信号として理解できる

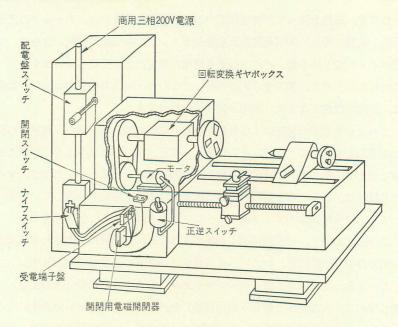
まず，機械が活動するためには，どのような経過をたどるのか，それを見ることから始めましょう．

ご存じのように，普通の機械装置は動力源が接続されて，活動力が与えられます．しかし，動力源が機械装置に直接に接続されて，すぐに活動が始まる機械は，おそらくないといってよいでしょう．

その間には，必ず，活動を制御するものが設けられています．

例えば，開閉器ですとか，動力の供給を定められた適当な値以下に保つための安全器などが，最少限装備されています．

みなさんが，日頃見なれている普通の旋盤を例にとってお話ししますと，ほ

▼図1.1　簡単な旋盤の動力の移り方

ぼ図1.1のようなものになると思います.

まず，電力源として，三相200V商用交流電源が旋盤の受電端子盤に接続されますが，旋盤内部にある受電端子盤に電源が入るためには，配電盤スイッチとナイフスイッチの2つのスイッチを通過しなければなりません.

またさらに，旋盤内部では，開閉スイッチやフューズを経由して，正逆回転スイッチを通り，はじめて駆動源としての三相誘導電動機に配線されます.

ここからは，みなさんの方がよくご存じのように，モーターの回転軸はベルトにより歯車減速機を通して，チャックに動力が伝えられ，チャックに取り付けられた加工物を，固定された切削バイトによって，いろいろな加工が行なわれるわけです.

さて，これからエレクトロニクスを勉強される人は，日常的に，なにげなく行なっている次のようなことをも，1つの信号として理解していかねばなりま

せん.

つまり，旋盤を使って品物を加工する人の操作を見ますと，チャックの正逆回転，始動，停止，切削速度を決定するチャックの回転数の選択，さらに，切削バイトの切り込み量，バイトの送り速度の決定などを行なっています.

これらはすべて，加工する人の判断，すなわち，頭脳の働きによって，即座に，所定の設定がなされ，加工が完了するわけです.

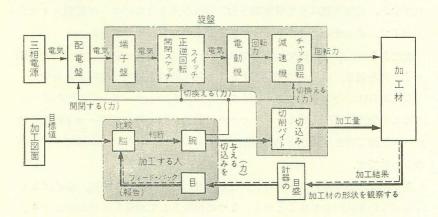
このような人間の意志による行動を含め，電気の流れる系路や，機械力の伝わる系路をまとめて“信号”として考えますと，下の 図1.2のように示すことができます．そして，この信号系統を示す図をブロック図といいますが，すべての機械は，いろいろな信号系統の組み合せによって機能を発揮しています.

また，信号系統は必ず，下図のようにブロック図で示すことができます.

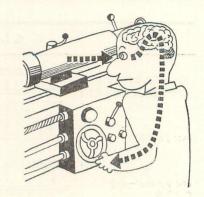
この図において，一度切削加工が始まりますと，目標値に加工されるまで太い矢印の信号系路内を，いろいろな信号が，かなりの速度でまわります.

このとき，□で囲まれた１つのブロックが，与えられた信号（入力信号）に対し反応し，ある定った信号（出力信号）を出すことを応答といいます.

さらに，太い矢印のように，ループになっていて，応答が戻ることを，信号が**フィード・バック**するといいます.

▼図1.2　旋盤作業の信号系統を示すブロック図

1.2　機械の制御主体，制御対象と外乱

さて，図1.2のブロック図中，加工する人から，加工材に与えられる加工量までの応答について，もう少し詳しく見ることにしましょう．

仮に，加工する人が，もう少し多く切削しなければならないと判断すると，まず，切削バイトの切込み量を与えるハンドルをまわします．

そのハンドルの回転は，次に，バイトホルダーの台座の送りネジで，送り寸法に変換され，バイトの切込み量に相当する切削が行なわれます．

このときの信号の伝達を考えてみますと，制御するものとされるものが一対になっているのが判ります．

いま，制御するものを制御主体，制御されるものを制御対象と呼び，その関係を矢印で示してみますと，図1.3のようになります．

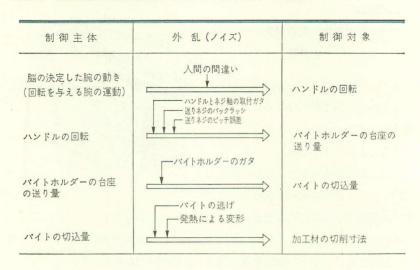
このように，各ブロック間の入力信号と出力信号の間には，制御主体と制御対象の関係があります．

さて，もう一度 図1.3を見ますと，ブロック図には示されていなかった，いろいろな障害，すなわち，制御主体の出力信号以外の信号が加わって，制御対象に与えられてしまい，制御主体が目標としている値と異なる結果が出てくる様子が示してあります．

この理由は，みなさんの仕事の経験からもお判りだと思いますが，さらに，旋盤加工を例に，お話ししましょう．

例えば，人が加工材を指定された寸法に仕上げようとするとき，切削バイトの最後の送り量は，加工する人のカンと経験によって決定されます．

しかし，同じ寸法，同じ形状のものを数多く作るときとか，指定寸法の精度

▼図1.3　制御主体と制御対象およびその中に割り込んでくる外乱

許容限界内に仕上げるときなど，大変な努力が必要ですし，まちがいが起きたりします．

つまり，信号がフィード・バックされるループの中に，見落しがあったり，表われない，いろいろな障害が起こってきます．

これを，図1.3に示すように，**外乱**と呼び，エレクトロニクスの回路の分野では，ノイズと呼ぶときもあります．

このような外乱（ノイズ）の中には，予測されないものと，予測されるが，除きにくいものとがあり，制御対象に制御主体が意図しない結果をもたらします．

実際的なエレクトロニクスの回路においても，このような予測されない信号（ノイズ）が，構成する系以外から，どんどん飛び込んできますし，また構成する要素（部品）に，障害を起こしたりします．

条件の悪い場合は，制御主体の意図する出力信号よりも，外乱信号（ノイズ・シグナル）の方が，制御対象の入力信号として大きく働く場合があります．

1.3　機械的制御と電気的制御の利点・欠点

前項では，制御主体と制御対象，そしてそこに飛び込んでくる外乱(ノイズ)について述べました．

では，各種の装置において，制御対象にはどのようなものがあるかを考えて，その制御対象を，機械的制御と電気的制御に分け，その比較を行なってみましょう．

一般の装置における制御対象を分類してみますと，制御される量は，次のような物理的現象であることが判ります．

幾何学的寸法………位置，長さ，面積，体積
質点の動き…………質量，速度，加速度，回転数(角速度)，角加速度
熱……………………熱量，温度
圧力，力……………力，トルク，圧力，真空度
電気量………………電圧，電流，電荷，磁界，電界
時間…………………時間間隔
化学量………………pH，濃度

上に書きました制御対象は，ごく一般的なものですが，装置の全般にわたって考えてみますと，新しい制御対象が，科学の進歩とともに現われてくると思われます．

いまここで，制御対象が単一な例を上げてみますと，例えば，卓上ボール盤の穴あけ深さを一定にするサイドスケールストッパーや，自動機のストロークを定めるマイクロスイッチのような自動定寸装置，さらに，空気圧縮コンプレッサーなどの定圧力スイッチ，回転体の回転数を与える回転ガバナーなど，みなさんの工場の身の回りに，かなり多く見つけることができます．

一方，制御対象は単一なものばかりではなく，組み合された状態で存在することもあります．

例えば，石油精製装置を考えてみますと，温度や油の流量，さらには，圧力を制御しなければなりません．しかも，それらの制御対象が混在しているところでは，相互の関係を見い出して，制御することが必要になってきます．

つまり，温度を一定に保つために，加熱エネルギーを一定に保っていたとしても，ここに流入してくる油の量によって，温度は変化し，さらに油の流入量の制御も，精製される原油の圧力によって影響を受けるからです．

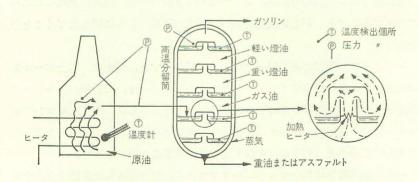
さて，すでに述べました図1.2のブロック図をおもい出してください．

つまり，信号の伝達には，必ず入力および出力があるため，各制御対象には入力信号を与えると同時に，出力信号の検出を，何らかの形で行なわなければなりません．

図1.4は，石油精製装置の制御対象の検出個所を示したものですが，温度の検出ができるものとしては，物質の膨張を利用したバイメタル温度計や，電気特性を利用した熱電対，熱による電気抵抗変化を利用した熱抵抗温度計を使うことができます．

現在，このような石油精製プラントの制御には，ほとんど電気的制御が採用されています．

しかし一方で，先にも述べました単一制御対象の制御には，いまだ機械的制

▼図1.4　石油精製装置と制御対象

御が残っています．といいますのは，単一な制御対象として例に上げたようなものを，電気的制御によって行なおうとすると，より複雑な回路をもつ制御器が必要となるからです．

逆に，石油精製装置のようなものを，機械的に制御しようとすれば，現在よりさらに大規模な装置を組まなければなりません．

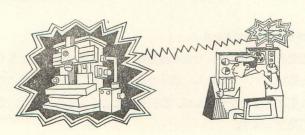
ここに，制御の機械的要素のものと，電気的要素のものとで，どうやら利点・欠点があるようです．

1.4　どんなときに電気的制御をするか？

では，機械的制御と電気的制御を比較した場合，その利点を生かして，どんなときに電気的制御をしたらよいのか，お話ししましょう．

■A　制御に速い応答速度を要求されるとき

ご存じのように，電気の流れる速度は，3×10^{10}cm/sec というばく大な速さを持っています．ですから，電気を伝達媒体として利用できる装置を組めば，このばく大な速さに相当する応答速度が得られます．

しかし，装置の中の電気部品を信号が通るとき，例えば，表示灯，リレー，トランジスタなどの半導体やトランスを通過するとき，ほんのわずかながら時間的遅れを生じます．これを物性に基づく時間的遅延といいますが，これはその部品の固有の動作時間によるものです．といっても，その遅れは，1秒の何10分の1から何万分の1という，ほんのわずかなものですので，通常の装置の制御には問題はありません．

■B　遠隔の制御を必要とするとき

仮に，10m離れた場所にある２つの回転軸に，同一の回転速度が必要であるとき，一端にある電動機回転軸をシャフトで延長して，他端に与えようとするのはなかなか容易なことではありません.

ところで，これを電気的に処理するとすれば，例えば，後に述べることになるのですが，タコメーターであるとか，エンコーダーなどの回転検出器を取り付け10mの間に数本の電気信号配線を行ないます.

そして，他端でこれを受信し，同一の回転を，別の電動機によって発生させることができるわけです.

しかも，その電気信号用配線の規模，例えば，配線材料の電気容量による太さや本数，および設備工事方法などは，伝達すべき信号に適応するものですから，制御対象である電動機の大小には無関係です.

といいますのも，電気的な信号は，伝達し易い規模に増幅，変換，減衰して利用できるからです.

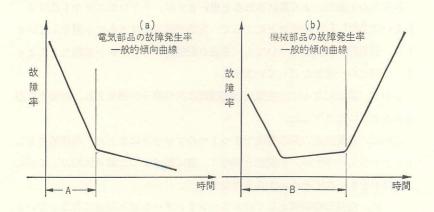
■C　複数の制御対象の組み合せによる制御が必要なとき

先にも述べました石油精製の制御の例が，これに当りますが，その他にも数多いタイムシーケンスを持つ装置，いく重もの安全装置を必要とする場合などもそうです.

しかし，機械的制御によっても処理が不可能なわけではないのですが，空間的に占める機構部品の形状や構成の組み合せは，電気的処理に対して大型になってしまい，経済的にも得策ではありません.

■D　装置の信頼性を高くするとき

一般に，電気部品の信頼性，つまり寿命は，機械部品の信頼性よりも高いと考えてよいと思います．なぜなら，信号の伝達要素としての電気は，電気部品を劣化させる要因とはなりませんが，機械部品による信号の伝達は，力による歪とか摩耗が発生します.

▼図1.5　機械部品と電気部品の故障発生率

したがって，無限に近い信号の繰り返しを要求されるとき，同じように，歪や摩耗も繰り返されるため，機械部品は劣化の一途をたどります．

しかし，電気部品の信頼性についても，ここで注意しておかねばならないことがあります．

つまり，電気部品の故障の発生は，運転の初期に多いことです．

図1.5は，一般的な電気部品と，機械部品の故障発生率の傾向を示したものです．

図1.5において，A，Bが何時間であるかは，一概にいうことはできません．

また，電気部品の中にも可動機構を有する部品では，(b)図のような傾向を示すものもありますので，新たな開発製品が出てくるのが待たれます．

■E　制御装置を小型にするとき

装置の信号変換に，空気圧力や油圧を利用して構成されたものは，ご在じのとおり，電気的装置に比べて，形状が大きくなります．

それは，空圧，油圧部品である圧力制御弁や系切換弁，表示器などが，電気的な制御部品であるリレーや真空管，あるいはトランジスタなどの個々の部品よりも大きいというばかりではなく，接続する配管なども，なかなかコンパク

トにまとめることができないからです．

みなさんも最近，よく耳にされると思いますが，トランジスタやＩＣ素子，あるいは MSI, LSI 素子などによって，電気回路部品はさらに小型化していますし，部品間の持続線についても，普通の配線材からプリント基板などによって，小型化の一途をたどっています．

しかし，最近になって，空気圧制御機器に流体素子が発見され，市場で利用されるようになりました．

これは，電気回路の基本構成を１つ１つのブロックにまとめ，論理処理をしようとするものですが，小型化と同時に，前に述べました電気回路のノイズによる障害をも，なくそうとするものです．

さらに，空気伝達装置としてのエアーシリンダーなどを同時に利用しているときには，信号を電気に変換する必要がない利点があります．

ですから，電気制御と同時に，注目しておく必要があります．

IC (Integrated Circuit—集積回路) 素子，MSI (Middle Scale Integrated Circuit—中型集積回路) 素子，LSI (Large Scale Integrated Circuit—大型集積回路) 素子，これらについては，後に詳しく述べることになります．

1.5 電気回路と電子回路の違いとは

さて，いままで，電気回路と電子回路の区別をしないで，一括してお話ししてきましたが，これからは，区別をして述べることにしましょう．

しかし，電気回路と電子回路とを厳密に分ける規定はありませんが，第1話の最初に述べましたエレクトロニクスの定義をおもい出してください．

そこでは，**「エレクトロニクスとは電子**

が真空，ガス，導体，半導体の中で動き，作用することについての技術」であると述べておきました.

ですから，電子回路とは，電子の流れという概念で構成された回路をいい，

一方，電気回路とは，電気作用によって生み出される電磁力を利用した電磁開閉器，リレーなどの可動部品によって，電気信号の断続を与える回路とか，真空管を利用する場合でも，電流，電圧値のかなり大きい回路で電流の流れという概念の回路をいいます.

この区別の仕方は，一般に電気回路の取り扱う電圧，電流が，電子回路のものより大きいとの見地に立った分け方です.

しかし，この区別の仕方も厳密なものではありません．といいますのは，最近の電子回路でも，一部では大型整流素子，大型制御整流素子といわれる，SR (Silicon Rectifier) とか，SCR (Silicon Controlled Rectifier) などの出現によって，取り扱う電圧は数千ボルトに，電流は数千アンペアに達するからです.

東海道新幹線や山陽新幹線などには，これらの大型ＳＲ，ＳＣＲが利用され，電子回路分野と電気回路分野が合成された技術が生かされているといえます.

そこで，一応の目安として，回路に使われる部品から，次のページの表1.1のように，電子回路と電気回路の区分をしてみたいと思います.

しかし，本書で述べようとしています電子回路についても，その技術的な歴史から見ますと，電気回路を基礎に発展してきたものです.

したがって，両者の結びつきは当然のようにして強く，しかもなお，装置の制御回路として，電子回路だけで完成されるものではありません.

特に，制御対象の検出要素（センサー）と，信号を制御対象に変換する変換要素（アクチュエーター）には，電気回路的な部品が多く使われており，制御装置である電子回路との信号伝達の授受には，多くの問題が発生する場合があります.

したがって，電子回路の説明がなされる前に，簡単な電気回路およびこれに使われる部品の説明が必要になってきます.

▼表1.1　電気回路，電子回路の部品による区分

	電気回路使用部品	電子回路使用部品
センサー類*	マイクロスイッチ リードスイッチ モータータイマー 圧力スイッチ バイメタル	フォトトランジスタ 発光半導体素子 電子式タイマー 熱電対
回路素子	電磁開閉器 リレー （回路素子としての）押ボタンスイッチ 真空管**	真空管 半導体（ダイオード，トランジスタ，ＳＣＲ，ＩＣ，ＬＳＩ）
共通回路素子	抵抗体，コンデンサー，コイル類（トランス，インダクタンス）	
アクチュエーター	表示灯，モーター，ソレノイド類（マグネット，マグネチックバルブ），エアシリンダー，加熱体	

＊「センサー類」の項の点線は，あえて明確に分類をしない．
なぜなら，それぞれの分野で利用でき，回路構成上の得失が現われる．
区分線のないものは，いずれの分野でも利用しうる．

＊＊ 真空管は電気回路の中で古くから使われていたので，電気回路使用部品の中にも含めた．

1.6　制御主体としてのエレクトロニクスと制御対象としての機械

これまでは，機械の個々の物理現象を制御対象として考え，装置を構成する機械と制御器について概略を述べてきました．

温度，圧力，動き，流量などの対象を個々に検出し，相互の関連の中で，１つの目標値に制御しようとする制御装置は，機械の中に作りだされる制御対象の状態を監視し，それぞれの対象が目標値に到達するのを待っています．

しかし，この表現は実際には逆で，この制御装置は，制御対象が目標値に達

しない限り，制御信号を送り続けることをやめません．

したがって，機械の側からこの状態を見ますと，制御装置が機械によって制御されている，と見えないこともありません．

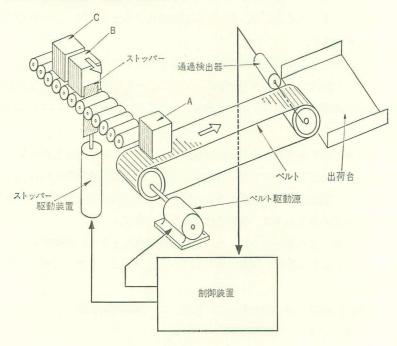
例を上げて説明することにしましょう．

下の 図1.6は，物品搬送機を示したものですが，これは物品A，B，C……を順序よく，ローラコンベア上からベルトに乗せ，出荷台へ送る装置です．

さらに，出荷台では，一定間隔を保って物品の処理がなされるため，出荷台の入口であるどこかで，間隔をあける必要があります．

そのために，搬送ベルトの終端を，物品Aが通過することにより，物品検出器から，制御装置に信号が送られます．

その信号を受けた制御装置は，物品Bをローラコンベア上に流してよいとい

▼図1.6　物品搬送機の制御のされ方

う信号をストッパー駆動装置に送り，ストッパーが外れて，物品Bはベルト上に乗り，出荷台に送られます.

そして，この繰り返しが行なわれるわけです.

さて，ベルト終端にある通過検出器は，制御装置を動かしていることになるのですが，ここで話しをもどし，さらに一歩，考えを進めてみましょう.

もし，物品Aがストッパーを外れて，ベルト上の通過検出器を通る前に，この搬送経路から飛び出したり，また，途中でひっかかったりしたら，どうなるでしょうか.

当然のように，この装置は何時までも，物品Bをストッパーで停止させ続けることでしょう.

実際の場合を考えてみますと，作業者はこの異状を見て，物品Aを拾ったりあるいは，ひっかかりを外したりするのですが，この装置の機械部を受け持つ人は，おそらく，飛び出しや，ひっかかりを防止するための何らかの改善策を考えると思います.

しかし，みなさんは，制御装置の改善に目をつけてはいかがでしょうか.

つまり，物品Aは，ストッパーが外れてから，一定時間後には，当然通過検出器の前を通過するはずですから，逆に，物品Aは，通過しなければならないと考えるわけです.

このような考えを実行させるためには，ストッパーが開かれたときから，通過検出器を物品が通過するまでの計時を行なうための限時装置を組み込みます．そして，限時時間後を表示する出力信号と，通過検出器の信号との合致を確認し，異状があるときは，警報を出すようにします.

すでにお判りだと思いますが，このように機械全体を1つの制御対象として考えたとき，制御装置は，制御主体として，生き生きとした力を発揮し始めるわけです.

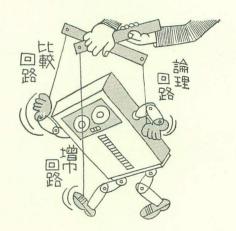
制御装置の標準化の一端を担って，最近，この種の制御装置が多く出てくるようになりました.

例えば，プロセス制御用コンピュータや N/C (Numerical Control――数値

制御）装置，あるいは，タイミングプログラマーなどがこれに相当します．

では，いよいよ，これらについて理解するために，基礎から出発することにいたしましょう．

第1話　§その2
電気回路のエレクトロニクス
☞（電子回路への出発のために）

電気回路に主に利用される回路は，“信号の論理回路”“信号の増幅回路”“信号の比較回路”とがありますが，この3つの回路について勉強しましょう．

2.1　制御装置としての電気回路

さて，いままで制御装置は，信号を与えたり，受けとったりすることによって，その働きを果すのだ，ということをお話ししました．

そこで，これらの制御装置を働かせる内部の回路について，電子回路へ出発するために，まず，電気回路からお話ししていきましょう．

電気回路に主に利用される回路には，“信号の論理回路”，“信号の増幅回路”，“信号の大きさの比較回路”とがあります．

これらの3つの基本回路の組み合せによって，相当な範囲の電気回路による制御装置を理解することができます．

まず，詳しいことに入る前に最初に概略を理解することから始めましょう．

■A　信号の論理回路

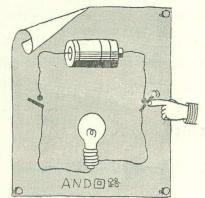
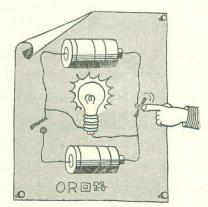
信号の論理回路は，AND（アンド）回路と，OR（オア）回路から成り立っています．

AND回路とは，AとBの条件がそろえば，Cの現象が起きることをいいます．これより，CはAとBとのAND回路であるといい，AとBの両方の条件がそろわなければCなる現象は起きません．

これに対して，OR回路とは，AまたはBのいずれかの条件があれば，Cの現象が起きることをいいます．

また，AとBの条件が同時にそろってもかまわないわけです．

このような場合，CはAとBのOR回路であるといいます．

これらのAND回路とOR回路の組み合せだけによっても，かなり変化のある回路の作成ができるということをおぼえていてください．

■B　信号の増幅回路

信号の増幅回路は，外部から与えられた微小電圧または微小電流を，より大きな電圧，または電流として取り出せる回路をいいます．

この増幅回路によって，微小な電気信号を増幅して，大きな電力を使用するパワーアクチュエーターを動かしたりします．

また逆に，増幅された大きな電気信号を測定することによって，微小な電気信号の測定を，精度よく行なうことができます．

■C　信号の大きさの比較回路

信号の大きさを比較する，比較回路においては，ある検出された電気信号を目標値（設定値）と比較し，目標値より大であれば出力が出て，目標値以下であれば出力が出ないような，限界設定器に使用されます．

この比較回路は，電気信号の測定選別回路として，広い用途があります．

さて，ここでは概略を知るだけにとどめ，具体的な内容は次の項にまかせることにしましょう．

2.2　リレー回路による機械の制御

リレー回路といえばシーケンス回路，シーケンス回路といえばリレー回路と思われるくらいに，機械の方面では，一定の順序で信号の処理が行なわれる，いわゆるリレー回路によるシーケンス制御装置がなじまれています．

ところで，このリレー回路の動作原理を考えてみますと，すでに述べました3つの基本的な回路が使用されています．

つまり，(A)　論理回路としての使用法（AND回路，OR回路，自己保持回路）

(B)　増幅回路としての使用法

(C)　比較回路としての使用法　がそれです．

ですから，シーケンス制御回路は，以上の3つの項についての応用と考えてよいわけです．では，これらA，B，Cについて順次，説明しましょう．

■A　論理回路としての使用法

（i）AND回路

図1.7，図1.8を見てください．まず，図の記号を説明しますと，X_1，X_2，X_3はリレーの励磁コイルを示し，図1.7のx_1，x_2は，リレーX_1，X_2のメーク接点を，図1.8のx_1，x_2は，それぞれのブレーク接点を示しています．

また，A，Bはメーク接点を有するスイッチを示します．

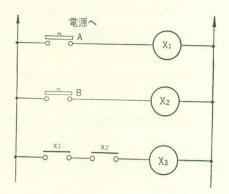
ここで，メーク接点という言葉が出てきましたが，図1.9を見ればお判りになると思いますが，リレーの励磁コイルに通電されたとき，閉回路になるスイ

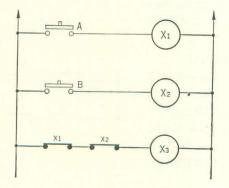
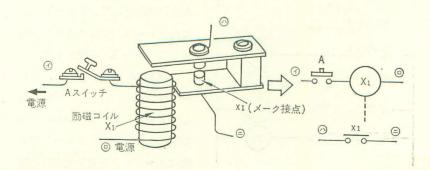
ッチの接点のことです．

一方，ブレーク接点とは，図1.9の装置を逆にして，励磁時に開回路になったスイッチの接点のことです．

さて，再び図1.7にもどりましょう．いま，スイッチAが押され，接点回路がクローズし，さらに，スイッチBが押され，回路がクローズしたとき，それぞれのリレーコイル X_1，X_2 は通電され，接点 x_1，x_2 はメークし，リレー X_3 は励磁します．つまり，リレーコイル X_3 を働かせるには，x_1，x_2 が同時にメークされる必要があることがお判りだと思います．

このように，スイッチAが押されるという条件と，スイッチBが押されるという条件のAND回路

▼図1.7　X_3 は A と B の AND 回路

▼図1.8　X_3 は A と B の NAND 回路

▼図1.9　メーク接点の構造

として，リレー X_3 は働くといいます．

次に，図1.8を見てください．図1.8の x_1，x_2 はブレーク接点ですから，スイッチAが押されない条件と，スイッチBが押されない条件のAND回路としてリレー X_3 は働きます．

この否定条件を指して，図1.7のAND回路に対し，図1.8の回路をNAND（ナンド）回路というときもあります．

図1.10は，AND回路を発展させた図です．

x_1，x_2……x_n は，電源に接続されているリレー，$X_1, X_2,$ ……X_n が独立した動作をするリレーの接点のとき，リレーXは，$X_1, X_2,$ ……X_n のAND回路となっています．

▶図1.10
X は X_1，X_2…X_n の AND 回路

▼図1.11
リレー X_4 はリレー X_1，X_2 の AND 回路
リレー X_5 はリレー X_1，X_3 の AND 回路

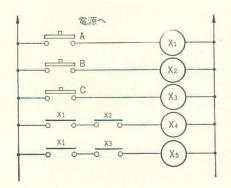



図1.11では，リレー X_1 と X_2 のAND回路として，リレー X_4 が，またリレー X_1 と X_3 のAND回路としてリレー X_5 が働きます．

このとき，リレー X_1 は，リレー X_4 に対しても，リレー X_5 に対しても共通の条件ですから，複雑な回路となる場合，リレーの接点数は3～4コと通常限定された商

品が多いため，接点を有効に利用する必要があります．

その有効な例として，図1.12のように，接点x_1の共通化があります．この図のリレーX_4とX_5は，図1.11のリレーX_4，X_5と同じ動作をします．

▼図1.12　接点を共通に使用した例

（ii）OR回路

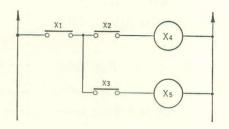
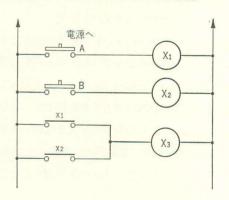
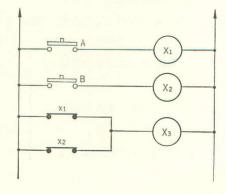
図1.13を見てください．

スイッチAが押され閉回路になるか，またはスイッチBが押され閉回路になれば，リレーX_1またはX_2が励磁されます．

したがって，リレーX_3は，それぞれのリレーの接点x_1かx_2のどちらかが働けば，励磁されます．

このとき，リレーX_3は，リレーX_1とX_2のOR回路になっているといいます．図1.14においては，リレーX_1が働かない（スイッチAが押されない）か，リレーX_2が働かない（スイッチBが押されない）かで，X_3は働いています．

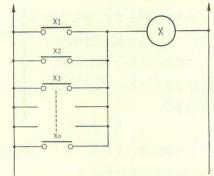
したがって，この否定条件によってOR回路であるため，NOR（ノア）回路とも呼ばれます．

もちろん，図1.13においては，

▼図1.13　リレーX_3はX_1とX_2のOR回路

▼図1.14　リレーX_3はX_1とX_2のNOR回路

リレーX_1とX_2が同時に働いても，リレーX_3は動作します．

しかし，図1.14を注意して見てください．

リレーX_1とリレーX_2が同時に働くときはリレーX_3は働きません．

ここで，図1.14の意味と35ページの図1.8の意味とを合せて考えてみてください．

▼図1.15　リレーXは$X_1, X_2 \cdots X_n$のOR回路

つまり，図1.8は条件が否定（スイッチが押されない）で結果が肯定（リレーが働く）であり，図1.14においては，条件が肯定（2つのスイッチが同時に押される）で結果は否定（リレーが働かない）となっています．したがって，図1.14は，NOR回路であると同時に，AND回路でもあるわけです．みなさんは，図1.8がNAND回路であると同時にOR回路であることを確めてください．

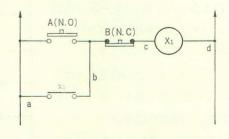
次に，図1.15は，OR回路を発展させた回路で，リレーX_1，$X_2 \cdots\cdots X_n$のいずれかが動作したとき，リレーXが働くことを示しています．

(iii) 自己保持回路

自己保持回路は論理回路とはいえませんが，記憶回路として使用することによって，論理回路の応用範囲を拡張させることができます．

したがって，一般の制御装置にも数多く利用されています．

図1.16を見ながら説明しましょう．

▼図1.16　自己保持回路の基本

A，Bは，それぞれ閉回路，開回路をつくるスイッチですが，Aは常時開(Normaly Open——略して N.O) Bは常時閉 (Normaly Close——略して N.C) を示しています.

いま，スイッチAを押し，閉回路にしますと，リレー X_1 は励磁され，X_1 の有する接点 x_1 が閉回路となります．これはスイッチAが瞬間的に押されることによって実現されます．ですから，その後，スイッチAが開回路となっていても，リレー X_1 の励磁が切れないように保持されています.

接点 x_1 がリレー X_1 の接点であることから，この回路を**自己保持回路**と呼びます．このようにして保持されたリレー X_1 の励磁を切るには，保持されている a—b—c—d の電流系路を開回路とすればよいわけです.

図1.16 の場合には，b—c 間を切る常時閉スイッチBが設けられていますから，これを押してやればよいわけです.

このスイッチBの位置は，a—b—c—d系路の中なら，どこでもよいということはお判りだと思います.

■B　増幅回路

増幅という言葉は，普通，入力信号，例えば，電圧や電流または電力などを定められた条件の倍率に，増大させるための回路用語として使われます.

しかし，ここでは，リレー回路などでの増幅のように，微小信号で大きな電力を制御する意味に使いました.

この微小信号で制御できる容量は，リレーのコイルが接点機構部を動かすことのできる最小電流，つまり感動電流と，リレーの接点の電圧，電流に定められた負荷容量とによって決まってきます．現在，商品化されているリレーの感動電流の最小のものは数ミリアンペア程度です.

また，制御できる接点の容量は，リレーと同類である電磁用開閉器を含めますと，最大値は，数千ボルト，数千アンペアまで可能です.

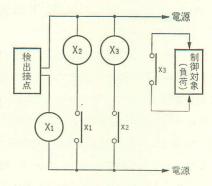
さて，次のページの図1.17 に，3段階に増幅する回路図を示しましたが，この回路図の場合，表1.2 のどのようなリレーを組み合せたらよいかを，例によ

って示します．

▼図1.17　リレーを使って3段階に増幅する回路

その前に，図1.17の増幅方法を説明しておきましょう．

まず検出接点に流れる微小な信号電流 I アンペアが，その電流に感動できうるリレー X_1 を励磁させ x_1 がメークされます．

そして，リレー X_1 には接点 x_1 に，I アンペアより大きな電流が流せるような接点容量を持ったリレーを選びます．次に，x_1 が閉じることにより，リレー X_2 が励磁され，さらに大きな接点容量を持つリレー X_3 が通電されます．

このようにして，リレー X_3 は x_3 をメークさせ，制御対象に流れる電流に耐えられる接点容量にまで増幅させてゆきます．

リレーコイルの感動電流値が $X_1<X_2<X_3$ のようなリレーを使ったとしますと，それぞれのリレーの接点容量は，通常，$x_1<x_2<x_3$ となります．

では，表1.2より，接点 x_1 がリレー X_2 の感動電流を負荷でき，さらに，接点 x_2 がリレー X_3 の感動電流を負荷できるものを選んでみましょう．

例えば——x_1…………リードリレー
　　　　x_2…………ミニチュアリレー
　　　　x_3…………継電器　　　　　——と選んだとしますと，X_1 の感動電流13～71mA程度の微小電流によって，リレー X_3 の接点 x_3 では，200V，6Aの負荷の制御を行なうことができます．

ただし，表の注にもありますように，この表の値は市販品の個別のリレーを示したものではありませんので，実際的なリードリレーを例にとりますと，感動電流は，その範囲の一定値となります．また，以上の説明には略されていますが，感動電流を流しうるコイルへの供給電源電圧は，個々のリレー X_1，X_2，X_3 について異なると思いますが，詳細は後に述べることにします．

▼表1.2　リレーの各種仕様

種類	品名	コイル定格		接点定格		動作時間	接点数	備考
		定格電圧	感動電流	接点耐圧	接点容量			
1	リードリレー	DC3～50V	13～71 mA	AC 500V	AC 0.3A, 15VA	0.2～1.4 mS	1	A社 SRF型
2	〃	DC6, 12, 24V	55, 33, 25 mA	AC 250V	AC 0.5A, 12VA	0.5mS	1, 2	B社 RT型
3	マーキュリーリレー	DC1.4～53V	2.8～15 mA	AC 500V	AC 2A, 100VA	1～2mS	1	A社 MCJ型
4	〃	DC10～78V	3～17 mA	AC 500V	AC 5A, 250VA	2～10 mS	2	A社 MCA型
5	ミニチュアリレー	AC, DC 6, 12, 24, 48, 100, 200	10～250 mA	AC 700V	AC 3A, 600VA	20mS	1, 2, 3, 4	C社 SA／SD型
6	〃	DC6, 12, 24, 48, 100V	感動電力 0.36W	AC 500V	DC DC 0.5A, 48V	20mS	6	D社 491型
7	小型パワーリレー	AC, DC6, 12, 24 48, 100, 200V	20～500 mA	AC 500V	AC AC 5A, 200V	20mS	2, 3	E社 MPS型
8	〃	AC, DC6, 12, 24 48, 100, 200V	10～200 mA	AC 100V	AC AC 5A, 200V	20mS	2, 4	F社 MY型
9	パワーリレー	AC, DC6, 12, 24 48, 100V	10～1500 mA	AC 100V	DC DC 15A, 48V	40mS	2, 3, 4	F社 MM型
10	〃	AC, DC6, 12, 24 48, 100, 200V	15～270 mA	AC 1000V	AC AC 7.5A, 100V	40mS	2, 3, 4	G社 ER型
11	継電器	AC, DC 24, 100, 200V	40～180 mA	AC 1000V	AC AC 6A, 200V DC DC 1A, 100V	40mS	4, 8, 10	E社 MR型
12	〃	AC6, 12, 24, 50, 100, 200V	21～1800 mA	AC 2000V	AC AC 6A, 200V	35mS	6	F社 MA型

＊**注**：上の表は市販品の同一種類のリレーについて数個のリレーの各仕様をまとめて記入してありますので1コのリレーの定格を示したものではありません．
またこの表は説明に必要なものだけの仕様を示してあります．

定格電圧——リレーのコイルに印加して使うべき電圧．感動電流——リレーの接点機構を動かすのに必要な最小の電流．接点耐圧——接点間に印加し，開回路時に，電圧を短絡せずに保持できる最大の電圧．この電圧まで接点を使用してよいということではなく，接点機構の耐電圧構造を示す1つの値．接点には，コイルの「定格電圧」と等しい電圧ぐらいで使用する方が好ましい．接点容量——接点に流しうる電流と使用電圧との積（V×A＝VA）．DC—直流．AC—交流．ms—m sec の略（10^{-3} sec—10^{-3}秒＝1m sec）．動作時間——コイルに電圧を印加した瞬間から接点がとじるまでの時間

■C　比較回路

さて，リレーのコイルは，感動電流に達したとき，接点の開閉動作が起ります．

例えば，直流6Vの定格コイル電圧を有するリレーは，通常，コイル両端に印加する電圧が，4.8V程度で感動し，接点の開閉を行なうことができます．

いま，図1.18において，可変抵抗器VR1の摺動子を⇑方向に上げていきますと，リレー X_1 に印加される電流は増えていき，感動電流が供給できる位置に摺動子がきたとき，制御接点はメークします．

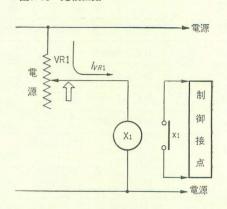
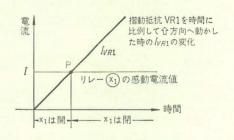
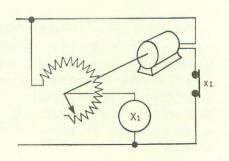
その模様を図1.19に示しますが，リレーX_1の感動電流 I アンペアと，摺動抵抗の変化によって得られる I_{VR1} の線の交点Pにおいて，接点x_1はメークされます．

例えば，図1.20のように，摺動抵抗の回転軸にモーターの回転軸を取り付け，X_1のリレー接点をモーターの電源に接続すれば，摺動抵抗の回転軸は常に 図1.19の点Pに位置させることができます．

このような回路を利用して，電

▼図1.18　比較回路

▼図1.19　比較回路の電流・電圧・抵抗の関係

▼図1.20　比較回路応用の一例

気的には相当粗い精度ではありますが，リレー X_1 の有するコイルの感動電流と，入力の電流信号，または電圧信号との比較により，リレーX_1の接点を利用した比較回路ができます．

さて，以上に述べてきました，論理回路，増幅回路，比較回路の基本から，次のような回路へと進展させることができます．それでは，個々の回路について説明をしましょう．

▶**復帰時遅延回路**

図1.21において，Aを閉じれば，X_1は直ちに励磁されますが，Aを開いても，コンデンサーCに蓄電された電圧が，Rを通じてコイルX_1に電流を流し，リレー X_1 の接点は遅れて切れます．

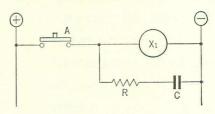
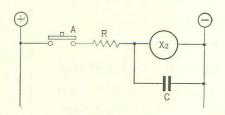
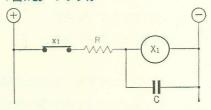
▼図1.21　復帰時遅延回路

▶**動作時遅延回路**

図1.22において，復帰時遅延回路とは逆に，Aを閉じるとき，遅れて接点が動作し，Aを切ると直ちに接点はもどります．

▼図1.22　動作時遅延回路

▶**フリッカー**

図1.23において，x_1が常時閉なので，動作時遅延回路と同じく遅れて，リレーX_1の接点が働き，x_1は開となり，直ちに X_1 の励磁は切れます．切れると直ちにx_1は閉となりますが遅れてまた X_1 が励磁されることを繰り返します．

▼図1.23　フリッカー

すなわち，X_1はちらちら（フリッカー）するわけです．

▶先行優先回路

▼図1.24　先行優先回路

図1.24において，A_1を押すと，X_1が励磁され，メーク接点x_1はメークし，ブレーク接点x_1はブレークします．

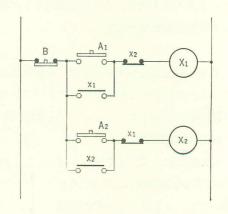
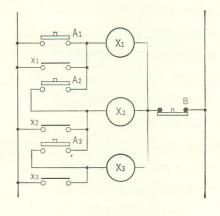
したがって，A_2を押してもX_2は励磁されません．

次にBを押して自己保持を外し(リセット)した後，A_2を押すと，X_2が励磁され，メーク接点x_2はメークされ，ブレーク接点x_2はブレークします．このとき，A_1を押してもX_1は励磁されません．

このように，A_1とA_2は早いもの勝ちになっています．

▶順次動作回路

▼図1.25　順次動作回路

図1.25において，A_1が押されると，X_1は励磁し，x_1がメークされます．次に，その状態でA_2を押すと，X_2が励磁されx_2がメークされます．さらに同様にしてA_3を押すと，X_3が励磁されx_3がメークされます．

これを逆ないい方で示すと，X_3はX_2が励磁されない限り励磁しません．

同様に，X_2はX_1が励磁されない限り励磁しません．

このように，A_1が押されX_1が励磁され，A_2によってX_2が，A_3によってX_3が……と順次励磁されない限り次段のリレーが励磁されません．

ここで，リセットスイッチBを押せば，すべて開回路となります．

▶フリップフロップ回路

図1.26において，**スイッチAを押すと**，X_1が励磁され，2線上の接点x_1がメーク，4線上の接点x_1はブレーク，7線上のx_1はメークされます．2線上のx_1がメークされると，X_2が励磁され，3線上のx_2がメーク，リレーX_2は自己保持されます．

次に，**スイッチAを離しますと**，X_1はリセットされ，ブレークされていた4線上のx_1が閉回路となります．このとき，4線上のx_2はメークされていますから，X_3が励磁されます．それと同時に5線上のx_3がメークされ，リレーX_3は自己保持されます．

さらに，**スイッチAを再び押しますと**，7線上のx_1はメークされ，x_3はすでにメークされていますので，X_4が励磁されます．

▼図1.26　フリップフロップ回路

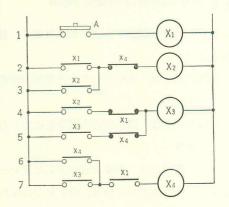
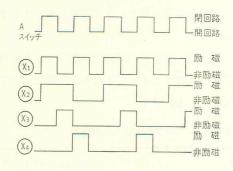
▼図1.27　スイッチとリレーの状態

このように，スイッチAを閉—開—閉と3段階に押すことによって，X_4が励磁される回路を，フリップ・フロップ（ギッコン・バッタン）回路といいます．

図1.27は，スイッチAとリレーX_1, X_2, X_3, X_4の励磁，非励磁の状態を示したものですが，凸部が閉（スイッチON）または励磁された部分で，凹部が開（スイッチOFF）または非励磁の部分を示しています．

このような図を，タイミングチャートといいます．

2.3　真空管回路による機械の制御

真空管の機械制御への主な利用目的は，**整流作用**，**増幅作用**，**ゲート作用** などがあります．

整流作用とは，供給される交流電源の電流の流れを一方向に限定し，直流にする作用です．

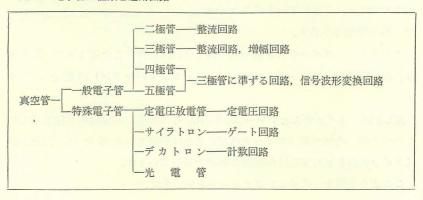
増幅作用とは，微小信号を真空管に与えられた定まった条件で，増幅拡大するものです．

ゲート作用とは，前項で述べましたリレーの動作と似ていますが，微小信号により，大きな信号のＯＮ，ＯＦＦを行なわせるものです．

この外に，真空管を利用した回路には，発振回路，信号波形交換回路などがありますが，使用されるのは稀です．

さて，みなさんもご存じのように，真空管は，いわゆる二極管，三極管などと呼ばれる電子管と，定電圧放電管，サイラトロンなどの特殊電子管に分けられます．

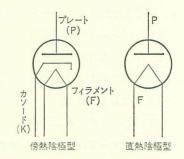
これらの電子管の種類と，使用される主な適用回路を体系づけますと **表 1.3** のようになりますが，これらの回路について，代表的なものを説明することにしましょう．

▼表1.　電子管の種類と適用回路

■A　二極管と整流回路

まず，図1.28を見てください．

▼図1.28　二極管の構造

二極管には，プレート(P)および，フィラメント(F)を持つものと，フィラメント側に，カソード(K)を持つものとがあります．

この2種類の二極管の内，前者を**直熱陰極型**，後者を**傍熱陰極型**と呼んでいます．

フィラメントは通常，交流電源で加熱され，真空管のフィラメント電圧として定まった値，例えば，2.5V，6.3Vまたは12Vなどの電圧を印加します．

このようにして，フィラメント自身，あるいはカソードの温度は，800°C～1200°Cにまで加熱されます．

直熱陰極型では，フィラメントは加熱が目的であることと，電子放出するためのカソードの両者の役目を受け持っていますが，交流の加熱電源の信号が，ノイズとして，プレート電流に入る恐れがあります．

この弊害を防ぐために，傍熱陰極型のように，加熱をするフィラメントと，加熱によって電子の放出を果すカソードの2つが設けられています．

また，傍熱陰極型を図で示す場合，当然，カソードはフィラメントによって加熱されるべきものですから，図1.29のように，フィラメントの記入を省略する場合があります．

さて，フィラメントに電圧が印加され，加熱されますと，フィラメント自体あるいはカソードにおいて電子（⊖の電荷を有する）の放出が起こり易い状態になります．⊖の電荷をもつ電子は，真空管中にある⊕の電圧の電極には引きつけられ，その電極へ飛び込んでいきますが，⊖の電圧の電極には反発され，電子の流れは起きない性質を持っています．したがって，プレートに⊕の電圧を印加すると，真空管中をフィラメントからプレートへ電子が流れます．

以上の性質を利用した回路を図1.29で説明しましょう.

いま，電子を放出するカソード(K)に対し，プレート(P)に接続された端子③に，入力側の信号として，㋑㋺㋩㊁で示すような交流電圧を与えたとしましょう.

③の電圧が㋑㋩のサイクルの状態，つまり，カソード(K)に対してプレート(P)が⊕の電圧になっている間では，カソード(K)から，プレート(P)に電子の流れが生じますが，㋺㊁のサイクルの状態，つまり，カソード(K)に対して，プレート(P)が⊖の電圧になっている間では，電子の流れが止まります.

したがって，負荷R_Lの両端①—②間には，出力側に描かれた㋑㋩の電圧がかかります.

この出力側の㋑㋩の電圧は，入力側の電圧の㋑㋩と，ほぼ等しい状態です.

このように，入力側に，㋑㋺㋩のような⊕⊖の振幅を持つ電圧波形を，⊕側だけ，出力側に伝える方法を**整流**といい，㋑㋺㋩㊁とある波形の内㋑㋩のように，半分の

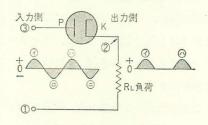
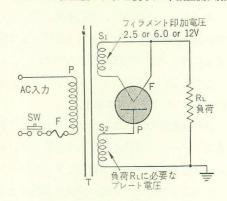
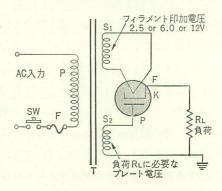
▼図1.29　二極管の半波整流作用

▼図1.30　直熱型二極管を使った半波整流回路

▼図1.31　傍熱型二極管を使った半波整流回路

波形だけ整流することを**半波整流**といいます．

図1.30は，直熱陰極管を使った半波整流回路で，図1.31は，傍熱陰極管を使った半波整流回路の実際的なものです．

一方，出力側に図1.32のような波形を得る回路を両波整流回路といいます．その実際的な回路は，図1.33で示すようなものです．

図1.33において，プレート（P_1，P_2）が２つあるものを示しましたが，動作は二極管と同じことです．

しかし，この２つのプレートによって，両波整流を得ることができます．

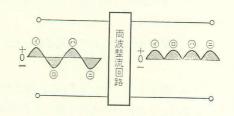
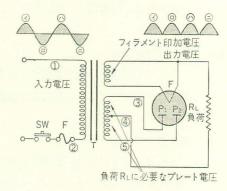
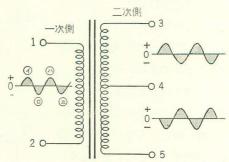
これを，図1.33と，図1.34によって説明することにしましょう．

図1.33において，Tは変圧器を示しますが，||で示した鉄心のまわりに一本の銅線を巻き，その両端を端子①②とし，これを一次側といいます．もう一本の銅線を巻いたものの両端を端子③⑤とし，③⑤の端子の中間から④を引き出します．これを二次側といいます．

図1.34は，以上に述べたトランスと信号波形の関係です．

▼図1.32　二極管の両波整流作用

▼図1.33　両波整流回路の実例

▼図1.34　トランスの出力信号

さて，この図1.34において，端子①②に㋑㋺㋩㋥のように変動する電圧を加えますと，④—③間には，端子④を基準として，端子③に㋑㋺㋩㋥と同じ変動をする電圧が起きます．

一方，端子④を基準にして，端子⑤には，反転した㋑㋺㋩㋥の電圧が起きます．

さらに，端子③がプレートP_1に，端子⑤はプレートP_2に加えられますので半波整流のときの電子の流れと同じことを考えますと，プレートP_1およびP_2を通して，同様の半波整流が得られます．

しかも，このP_1，P_2によって得られる半波整流は，それぞれ半サイクルずつずれていますので，出力側は，図1.33のような㋑㋺㋩㋥の波形になります．

■B　三極管と増幅回路

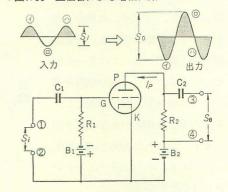
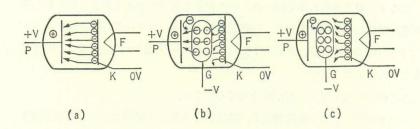
図1.35を見てください．すでに述べてきました二極管のフィラメントとプレートの間に，グリッド（G）と呼ばれる余計なものが設けられているのがお判りと思います．

この真空管を三極管といいます．

では，このグリッドがなぜ，必要なのでしょうか．

いま，図1.35のように，フィラメントから放出される電子が，電池B_2によって⊕の電位になっているプレート(P)に飛び込む途中で，電池B_1によって⊖の電位になっているグリッド(G)で，この飛び込みを制限することができるからです．

この電子の流れる量，つまり，電流の大きさを変えることについて，図1.36によって，もう少し詳しく説明することにしましょう．

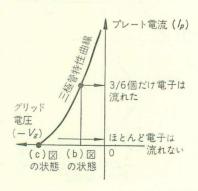
▼図1.35　三極管による増幅回路

▼図1.36　三極管のグリッドの働き

上の(a)図は，二極管の構造ですが，フィラメント(F)によって加熱されたカソード(K)の電圧(0V)から，電子は⊕の電圧のプレート(P)へ飛び込みます．その間には，障害物がないため，プレート(P)が⊕の電圧であれば，常に電子は流れ込んでいきます．

次に(b)図は中間にグリッド(G)が設けられた三極管です．このグリッドに⊖の電圧が与えられたとき，例えばこの図の場合，6コの電子の内，3コがプレートに到達し，残りの3コがグリッドGによって反発されています．

つまり，プレート(P)の⊕の電圧，およびカソード(K)の電圧(0V)によって，6コの電子が放出される状態にありながら，プレート(P)には，3コの電子しか流れていかないことになります．

▼図1.37　グリッド作用と電子の関係

もし，グリッドの⊖の電圧を，より小さな値にするとき，例えば，(b)図において，カソードに対して−2Vであったとして，より小さい値の−10V位を与えたとしますと，(c)図のように，1コの電子もプレート(P)に達しないほどに，グリッド(G)によって反発されてしまいます．

図1.37は，プレート電圧が一定のとき，グリッド電圧とカソードからプレ

ートへ到達する電子の流れの関係を示したものです．

ここで，電子の流れる方向へは，⊖の電荷を運ぶと考えるとき，逆方向に⊕の電流が流れると定めますと，三極管においては，カソード(K)からプレート(P)への電子の流れが，プレート(P)からカソード(K)へ電流を流すと考えてもよいことになります．

さて再び前にもどり，図1.35を見てください．

グリッド(G)には，直流電源 B_1 が抵抗 R_1 を通じて接続され，入力信号端子からコンデンサー C_1 を通して，グリッド(G)につながれています．

コンデンサーC_1は，グリッド(G)の直流電圧に対し，入力信号の電圧の変化分だけを伝達するために使われます．

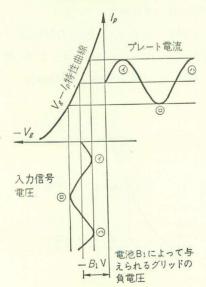
いま，直流電源B_1によって，$-B_1$Vの負電位に相当する電圧をグリッド(G)に与えますと，グリッド電圧は入力信号電圧の変化を受け，$-B_1$Vを中心に，下の図1.38の特性曲線に示すように，プレート電流が変化します．

▼図1.38　増幅回路によるプレート電流

図1.35において，今度はプレート(P)側の回路を見ることにしましょう．

プレート(P)には，直流電源B_2が抵抗R_2を通して接続されていますので，プレート(P)から抵抗R_2を通して，直流電源B_2の⊕の電極へ，⊖の電荷を持つ電子が流れ込みます．この現象は，直流電源B_2の⊕から，抵抗R_2を通してプレートへ，さらにカソード，直流電源B_1の⊕の電極へと，電流 I_p が一巡します．

このとき，抵抗R_2の両端には，オームの法則による（$I_p \times R_2$）Vだけの電圧が発生しています．

そして，I_pは入力信号電圧に対して

すでに述べましたように，図1.38のように変化しますので，当然，抵抗R_2の両端の電圧（$I_p \times R_2$）Vは変化し，その変化分をコンデンサーC_2を通して取り出すことができます．

このような，入力信号電圧と出力信号電圧の変化の関係は，図1.38において，$-B_1$Vのグリッド電圧から，入力信号電圧が㋑のように⊕の方向に変化しますと，I_pは多くなります．

I_pが増大すると，$I_p \times R_2$は増大し，出力端子④に対する端子③は，一方向に深く，電圧の降下する方向に増大していきます．

図1.35において同様に考えてみますと，入力信号電圧の㋑㋺㋩に対し，反転した出力信号電圧㋑㋺㋩を生じます．

■C　定電圧放電管による定電圧回路

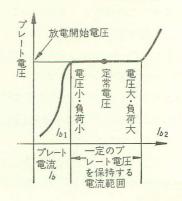
二極管のカソードから放出される電子は，真空管の内部に，ネオン，ヘリウム，アルゴンなどの不活性ガスを微量封入して，プレートに電圧を印加しますと一定の電圧で放電が開始し，ある電流範囲において，プレートとカソード間の電圧を一定に保持できる特性を持っています．

この状態をグラフに示しますと，図1.39のようになります．

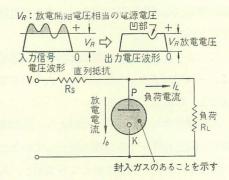
放電を開始する電圧は，封入ガスの種類，圧力によって決定され，これが，放電管の固有の値となります．

▼図1.39　プレートの定電圧状態

通常の定電圧放電管の放電開始電圧は，75V～150Vですが，これ以上の一定電圧を得たいときには，2コ以上の定電圧放電管を直列に接続して使用します．

また逆に，75V以下の一定電圧を得たいときには，後に述べることになりますが，ツェナーダイオードを使用します．

さて，図1.40は，定電圧放電管を利用した定電圧回路ですが，どのようにして，出力側に定電圧を得るかを，お話ししましょう．

▼図1.40　定電圧を得る回路

まず，図において，定常状態における放電電流をI_b，負荷電流をI_Lとしておきます．

このとき，直列抵抗R_Sには，(I_b+I_L)の電流が流れていますので，抵抗の両端には，$R_S(I_b+I_L)$Vの電圧がかかっています．

この状態で，もし，負荷抵抗R_Lの値が上がったとしたらどうなるでしょうか．当然，負荷電流I_Lが減少するため，直列抵抗R_Sの両端の電圧降下は減少し，定電圧放電管のプレート電圧が増加しようとします．

しかし，定電圧放電管の特性はすでに述べましたように，増加しようとした電圧に相当するだけ放電電流I_bが増加して，一定電圧を保ちますので，プレート(P)の電圧は上がりません．

では，今度は逆に，入力信号電圧が定常状態より上昇したらどうなるでしょうか．

やはり，この場合も，前と同じように，放電電流I_bが増加することによって，出力側の電圧を一定に保ちます．

つまり，図1.39に示しますように，放電電流は，たえずI_{b1}とI_{b2}の間を変動して，一定電圧に保つわけです．

ところで，入力信号電圧や負荷抵抗が大きくなりすぎたり，小さくなりすぎたりして，それを補う役目をする放電電流I_bの値，I_{b1}—I_{b2}からはずれた場合はどうなるのでしょうか．

もちろん，出力側に定電圧を送ることはできません．例えば，図1.40の出力波形の凹部は，入力信号電圧が低すぎたために起こった現象です．

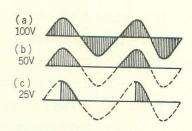
したがって，このような障害を避けるために，定電圧放電管の I_{b1}—I_{b2} 間の範囲の広いものを選択するか，電源変動の最低電圧を予測して，定電圧放電管を選択します．

■D　サイラトロンとゲート回路

図1.41は，交流電圧の波形を示したものですが，いま，(a)が100Vであると仮定しますと，その半波形(b)は50Vであることを示しています．

さらに，その1/2である(c)は，25Vを示すことになります．

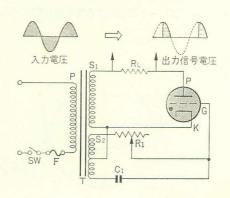
▼図1.41　電圧と波形の関係

もし，このように電圧の波形を，連続的に，しかも自由に位相制御することができ変化させることができれば，非常に便利であることがお判りだと思います．このような作用をするのがサイラトロンであり，サイラトロンを利用して，いろいろな働きをさせることができます．

このサイラトロンは，真空管の中では利用する機会が多く，例えば，可変定電圧電源，電動機速度制御，溶接電力制御，調光装置などに広く使われています．

では，図1.42のゲート回路を見ながら，サイラトロンが，どのようにして，以上の働きをするのかをお話ししましょう．

まず，サイラトロンは，三極管の内部に，水銀ガスまたはアルゴンガスを封入したものです．

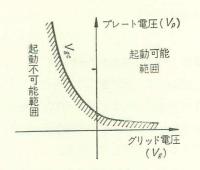
ですから，三極管と同様に，グリッドの電圧によってカソードか

▼図1.42　サイラトロンを使ったゲート回路

ら，電子を引き出し始めることができ，プレートへ流れます．

この状態を**点弧**と呼びます．

ところが，サイラトロンにおいては一旦点弧しますと，グリッドの制御電圧には無関係に放電が続きます．

といいますのは，カソードから電子が飛び出すと，内部のガスをイオン化し，イオンガス中を電子が流れるため，放電が止まらなくなってしまいます．

▼図1.43　臨界格子電圧（V_{gc}）

これは，プレート電圧が⊕である間は継続しますので，一旦開始した放電を停止させるには，プレート電圧を，カソードに対して⊖の電位としなければなりません．このような放電を**電弧放電**と呼びます．ですから，サイラトロンの作用は，プレート電位による，放電があるかないかの2つのきわだった状態を作り出すわけです．

一方，放電が開始することのできるグリッド電圧(V_g)は図1.43のように，プレート電圧と相互に関連して，臨界格子電圧（V_{gc}）曲線を描きます．

では，サイラトロンのプレートに交流電圧が印加されたとき，この臨界格子電圧(V_{gc})がどのように変化するかを，図1.44によって見ることにしましょう．

▼図1.44　プレート電圧による臨界格子電圧（V_{gc}）の変化

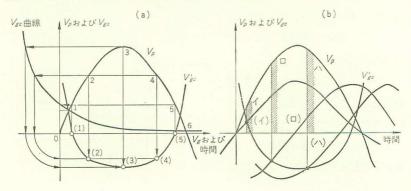



図1.44 の(a)図のように，横軸に時間，縦軸にプレート電圧（V_p）をとると，プレート電圧(V_p)は，点0から一定周期で，0→1→2→3→4→5→6を変化していきます．

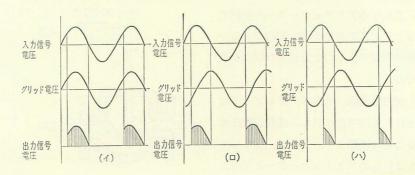
また同じ座標上で，横軸にグリッド電圧(V_g)，縦軸にプレート電圧（V_p）をとると，図1.43ですでに示しましたように，臨界格子電圧(V_{gc})曲線が与えられます．次に，このV_{gc}曲線に対してV_pの周期曲線の各点の値を求めますと，矢印とV_{gc}曲線との交点になります．

この交点の値を，横軸に時間，縦軸にV_{gc}電圧をとり，投影したものが，V_{gc}'曲線になり，それをさらに，(b)図に描き写しました．

つまり，(b)図の意味は，プレート電圧（V_p）との関係で時間の単位に置換された臨界格子電圧(V_{gc}')の曲線よりも，グリッド電圧(V_g)が上がれば，カソードから電子を引き出すことができ，その後は，グリッド電圧の増減とは関わりなく，電弧放電が起こることを示しています．

ですから，グリッド電圧(V_g)が，プレート電圧（V_p）と異なる時間の遅れをもつ(イ)，(ロ)，(ハ)のような3種の電圧が印加されたとしますと，V_{gc}'曲線とそれぞれ異なる点で交叉し，その時点より点弧され，電弧放電が開始されます．

下の図1.45 は，(イ)，(ロ)，(ハ)のグリッド電圧で起こる，電圧波形を示したものです．このようにして，プレート側に入力信号電圧として入った正弦波が，出力信号電圧には，図1.45 の(イ)，(ロ)，(ハ)のような波形になって出てきます．

▼図1.45　3種のグリッド電圧の時間的遅れに対して得られる電圧

では，もう一度，図1.42のゲート回路を見ながら，いままで述べたことを整理してみましょう．

この回路では，V_p に対し，V_g を時間的に遅らせることができます．

つまり，変圧器の二次側コイルS_1，S_2には，図1.44(b)のV_pと(イ)のグリッド電圧(V_g)のように，位相の等しい電圧が誘起されていますが，グリッドに対しては，抵抗R_1を通してコンデンサーC_1に充電された電圧が与えられるために，グリッドの電圧は，図1.44(b)の(ロ)のような時間の遅れを生じます．

また，抵抗R_1を一定値にしたとき，V_gの遅れが，図1.44(b)の(ロ)であったとすれば，さらに，抵抗R_1を大きくするとコンデンサーC_1に充電する電流が減少し，グリッドの電圧の遅れは，一層大きくなり，(ハ)のようになります．

このようにして，抵抗 R_1 を連続的に可変できる可変抵抗器を使用すれば交流波形の任意の点からサイラトロンを起動させ，点弧させることができるわけです．

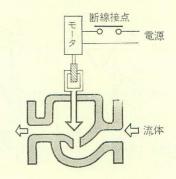
つまり，最初の図1.41のどのような波形でも得ることができ，何ボルトにでも連続的に変化させることができるわけです．

2.4　アクチュエーターと電気回路

機械に使用されるアクチュエーターとしては，交流電動機，直流電動機，パルス電動機，ソレノイド，電磁弁，加熱ヒーターなどがあります．

▼図1.46　機械による連続制御

これらのアクチュエーターを使用するとき，制御対象が連続制御であるか，断続制御であるかを見極めねばなりません．

交流電動機，電磁弁，ソレノイドなどは，制御対象に対し，連続制御させることは困難です．しかし，どうしてもこれらのアクチュエーターを使用し

なければならず，なおかつ，連続制御をさせたいときには，機械部に工夫しなければなりません．

この例としては，図1.46のような，流体流量を制御するモーターバルブに見られるように，弁の開度をモーターの断続制御によって，流体の連続制御を行ないます．

電気制御回路にも，リレー回路のように，断続制御を利用するものや，真空管回路のように連続制御を利用するものとがあり，アクチュエーターの選択に大いに関連があります．

また逆に，アクチュエーターの種類から，制御回路がある程度必然性をもって定まるため，制御回路を理解する場合にも，アクチュエーターを知るということは重要なことです．

第1話　§その3
電子回路のエレクトロニクス

☞　私たちが，エレクトロニクスという言葉を聞くとき，すぐ頭に浮ぶのがトランジスタラジオです．それ以前にも，携帯用ラジオとして，真空管式のラジオがありました．

もちろん，この真空管式携帯ラジオもエレクトロニクスの分野に入りますが，トランジスタの発明によって一番大きく飛躍したのは，一に小型化，二に電池の長寿命化，三に部品の信頼性の向上などが上げられます．

では，この画期的なトランジスタに代表される電子回路を，これから勉強することにしましょう．

3.1　電気回路から電子回路へ

すでに，機構部を持つ電気部品の故障率について述べましたが，電気部品は機械的な可動部を持ちながら，電気部品としての小型化が要求されたり，機械的耐久に対する高い信頼性，さらには電気的性能などを維持していく必要がありました．

しかし，これには，設計，製作上，かなりむづかしい問題が多いため，必ず部品メーカでは，商品の寿命について明示していますし，信頼性を保証する時間的限界を明記しています．例えば，真空管のようなものは，電子放出に必要なカソードの加熱による劣化，あるいはフィラメントの劣化などを生じ，必ず寿命というものがあります．

したがって，使用者は，通常，この寿命とか信頼性の確保期間を，できるだけ延長するために，メーカが定めた定格仕様よりも，さらに下の条件で使用するように努めていますが，どちらにしても，永久的な品質の維持は困難であるといえます．

さらにリレーの場合を例に上げてみますと，電流の流れている接点を切るとき，接点部分に生じた負荷誘導電圧によりスパークを起こし，接点は黒化したりします．あるいは，長時間放置されたままですと，接点に，酸化膜ができたり塵が付着したりして，接点不良を起こします．

また，接点がメークされるときのチャタリング（接点が密着するまでのバネによる振動）によって，接点面が溶解したりします．

この場合でも，規定されている電流値の1/3〜1/4の負荷電流となるようなリレーの選択を行なって寿命の長時間化に努めています．

しかし，一方で，このような信頼性や寿命の長時間化の確保のために，機械的可動部のない，電子の放出のために加熱する必要のない，しかも固体内において電子の制御が行なえる半永久的な電子部品の採用が，現在，着々と進んでいます．

これが，半導体部品であり，半導体部品によって組まれた電子回路であるわけです．

すでにご存じのように，米国のアポロ計画に基ずく，ロケット搭載機器の小型化，軽量化のために，トランジスタから始まり，ＩＣ，ＬＳＩという歴史がありますが，この小型化，軽量化を可能にしたのも，半導体部品であり，その回路です．一方，私たちの身近にある機械の制御装置の小型化は，装置の小型化が最初に必要であったわけではなく，開発されたＩＣであるとか，ＬＳＩなどを利用したために小型化した，といった方がよいでしょう．

しかし，このように，制御装置が小型化することにより，さらに高密度の論理回路が付加でき，装置の安全性，信頼性をより高めることができるわけです．

また，高精度の制御のために開発された，各種センサーを取り付けその感度

を，効率よく検出，増幅，出力ができるため，この小型化の果す役割は大きいといえます．

現在，このようにして，機械の制御装置の集積度が，どんどん上がっています．

では，以上のような半導体部品の利点をまとめてみましょう．

(a)　信頼性の向上　(b)　部品寿命の永久化　(c)　小型化

(d)　開発されつつある新しいセンサー，アクチュエーターとの連携

3.2　半導体素子化とは？

さて，半導体部品を利用した電子回路のいろいろな可能性について述べましたが，これらは，半導体素子化によって達成されます．

かつて，半導体化の第一歩が，真空管式携帯ラジオのトランジスタ化であったわけですが，現在では，すでに続々と新しい半導体素子の開発がなされ，従来の真空管の分野はいうまでもなくこの分野を飛び越え，真空管以外の部品の半導体化，さらには，かつてなかった部品の世界へと進歩しています．

下の 表1.4は，従来の部品と半導体製品との比較照合を示したものです．

▼表1.4　従来部品と半導体部品の比較照合

整流管………………ゲルマニウムダイオード（レクチファイヤー）
　　　　　　　　　　シリコンダイオード（レクチファイヤー）
一般電子管…………ゲルマニウムトランジスタ，シリコントランジスタ，ＦＥＴ
定電圧放電管………ツエナーダイオード
サイラトロン………ＳＣＲ
クライストロン……ガンダイオード
　　？　　　………ＩＣ，パワーＩＣ
　　？　　　………ＬＳＩ，ＭＳＩ
数字表示管……………ガリウム（アルセナイト）リン系発光表示装置
表示灯…………………発光素子
回路組立ブロック…半導体ファンクションユニット
　　　　　　　　　　あらゆる工業に使用される制御素子ブロックとしての展開

以上に示しました半導体素子は，多くの品種と，規格上の分類から，数千種類にも及びますが，本書の第4話以降の理解が完了すれば，容易に展開が可能になります．

ただし，表の最下段に示しました回路組立ブロックとしてのファンクションユニットは，今後の展開が期待される分野ですが，いわゆるブラックボックスとして，入出力信号を取り扱い，内部の回路については，詳細が明確に提示されない場合があります．

これは，機械全体を対象にした，制御主体としてのミニコン，N/Cと同じように，その使用技術が主体になるでしょう．

3.3　電子回路による機械の制御

では，このような半導体素子を利用した回路をもつ機械の制御装置は，どうなっているかを考えてみましょう．

図1.47　機械の制御装置のブロック図

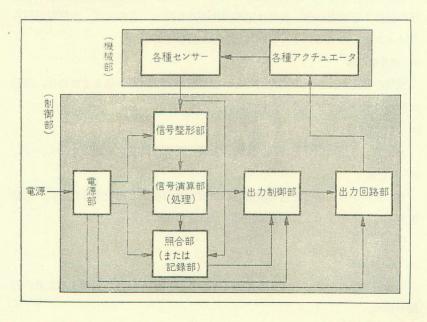



図1.47は，制御装置の一般的なブロックダイヤグラムを示したものです．

装置は，機械部と制御部に分かれていますが，電気信号系路について，まず見ることにしましょう．

機械部の中には，各種のセンサー，例えば，機械に付属するリミットスイッチ，押ボタンスイッチ，圧力変換器などがあり，制御部へ機械信号としての出力信号を出します．

次に，この信号により，機械部のアクチュエーターには，制御部からの出力信号が制御信号としてフィードバックされます．

また，アクチュエーターの動作は，さらに変化された信号として，各種センサーに，時間の経過した後の信号を発信する状態を作り出します．

では，制御部内はどうなっているのでしょうか．

制御部内を構成する各要素を次に書き出してみることにしましょう．

(a)　電源部

商用電源，あるいは装置内蔵の蓄電池による電圧を，回路構成部品の規定電圧に保持する定電圧化，または定電流化回路を持つ．さらには，商用電源からのノイズを防止するフィルターなどを持つ場合もある．

(b)　信号整形部

機械の各種センサーの出力信号を，信号演算処理回路へ与えるために，適正な信号に変換整形する回路を持つ．

(c)　信号演算部

センサーの出力信号を増幅，比較，計時，計算，減衰する回路を持つ．

(d)　照合部

センサーからの信号を信号演算された出力後の信号と比較するために，信号演算部の結果を記憶しておき，結果の照合を行なう回路をもつ．

場合によっては持たないときもある．

(e)　出力制御部

信号演算部に吸収される場合もあるが，演算結果を最適に制御するための回路を持つ．

(f)　**出力回路部**

制御信号を機械部の各種アクチュエーターの仕様に合う信号に変換する.

電力増幅，直流出力信号の交流出力への変換などの回路を持つ.

以上のような回路が，制御部内の各要素を構成しています.

さて，各ブロックについて，一番見つけにくい故障原因は，機械部においては破損に到らない異状歪であるように，電子回路については，機械のアクチュエーターから発生する電気信号ノイズ，回路からくるノイズによるものです.

部品が破損していないのに誤動作するなどの対策には，このノイズが回路に投入されている現象を見つけ出すことを考えねばなりません.

3.4　制御装置としての電子装置

すでに，電子回路制御器は，標準化されつつあることを述べましたが，一般の制御器にもユニット化された電子装置を使用している場合があります.

前の項で述べましたブロック図についても，個々のブロック内部の電子回路を理解する必要があると同時に，電子装置全体についても理解することが必要です.

では，前の項で示したブロックダイヤグラム，図1.47 に相当する電子装置には，どんな機構があるか分類してみましょう.

(a)　**電源装置関係**

㋑直流定電圧電源ユニット
㋺直流定電流電源ユニット
｝トランジスタ，ＳＣＲを使用して，商用電源から直流安定化させた電源.
6Ｖ，12V，24Ｖのように，出力の固定されたものと可変設定できるものがあり，過負荷時の過電流保護装備のものが多い．出力電圧は0～10kV 位まである.

㋩信号発生器――正弦波，方形波，三角波，トリガー信号などの信号発生装置．低周波(1Hz 以下)から高周波（10MHz 以上）まで.

(b) **信号演算部**

——コンピュータ，プログラムタイマー，標準電圧発生器，直流増幅器，信号スキャニングモニターなど，機械の種類ごとに対応するものなので，標準化しにくい．

(c) **照合部**

——コンピュータ，各種記録計（調節機構を有するもの）

(d) **出力制御部**

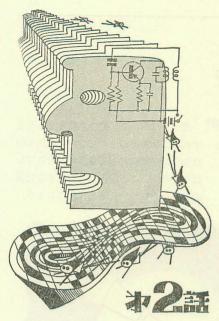
——各種調節計（圧力，液面，温度など）として，一部には信号演算部を含むものもある．

(e) **総合電子装置**

——数値制御器，電気信号測定分類装置

(f) **計測装置**

——ディジタルボルトメーター，パルスカウンター，シンクロスコープ，電気特性直視装置

では，これらの機器の代表品種について理解するため，出発することにしましょう．

ELECTRO-NICS

疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス・1

《実用基礎編》

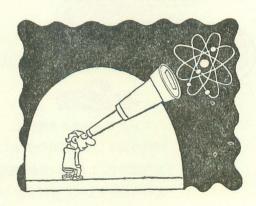
第2話 いろいろな場での電子の働き

エレクトロニクスを勉強し，応用していくとき，ひとつの習得方法として，回路の理論に，直接取り組んでしまうことも可能です．しかし，機械を勉強された人は，具体性ある“見えるもの”としての機械要素，材料などを扱ってこられたため，直接回路の理論について勉強されても，実際に組み立てられた電子の回路と結びつきにくいと思います．

そこで，始めに，目に見えない電子について，真空中，ガス中，そして半導体中での動き方を知ることは，電子の動きの定量的，または定性的な取り扱い，つまり各種の計器を使って，電子回路の中で，いかに電子が働いているかを理解するとき大いに役立ちます．

第2話においては，この電子の働き方を十分知った上で，実際に組み立てられた電子回路を，その回路図面と照らし合せながら，回路を構成している素子が，どのような動作状態にあるのかを勉強していくことにしましょう．

第2話　§その1
電子とは何か?

☞ 電子とは何か？　その本質を知ろうとすれば，物質そのものについての基本的な知識が必要になってきます．そこでしばらくの間，この宇宙間に存在する物質のなりたちについて考えてみましょう．

1.1　元素はすべての物質の基である

宇宙間に存在する物質は，種類やその性質が，まさしく無限にあるといってよいかもしれません．

しかし，どのような物質でも，細かく分割していきますと，その物質の性質を持つ，最小の粒子に行き着きます．

これを**分子**と呼びます．

また，この分子は，比較的少数の基本的物質である元素のさまざまな組み合せによる結合から成り立っています．

さらに，これらの元素は，原子構造と呼ばれる個々に特有な構造を持ち，元素のすべての性質は，この原子構造によって決められます．

1.2 原子の構造とは？

原子の構造は，一般に図2.1のような模型で考えることができます．

▼図2.1 原子の構造

中心に，正(陽)の電荷を持った非常に小さい**原子核**と，その周囲をある一定の軌道に沿ってまわる負(陰)の電荷を持った，いくつかの**電子**から構成されています．

原子の大きさは，約 10^{-8}cm 程度の非常に小さな粒子ですが，その構造を概念的につかめるように原子を1000億倍に拡大したものが，図2.2に示したものです．

▼図2.2 1000億倍の原子の大きさ

	直　径
原　子	10^{-10} m
原子核	10^{-14} m
電　子	10^{-15} m

原子全体からみますと，原子核の大きさは，きわめて小さいのですが，原子の質量のほとんど全部が原子核に集っています．

この原子核は，さらに複数個の**陽子**と**中性子**と呼ばれるものから構成されています．

陽子は原子量単位で，1(1.0074)の質量と，原子の周囲をまわる電子と，絶対値の等しい，正の単位電荷を持っています．

さらに，中性子の質量は，陽子と同じく，1(1.0087)ですが，電荷を持たず電気的に中性です．

これらの陽子と中性子は，核力と呼ばれる強いエネルギーによって結合され，原子核を構成していますが，これらの陽子や中性子の数によって，原子の種類が定まります．

その総和を，その元素の**質量数**と呼び，最も近い整数値で表わします．

これが原子量と呼ばれるものですが，この原子量の小さいものから順番に番号をうった数字が，**原子番号**（Z）であり，その原子核中の陽子の数と等しくな

っています．

次に，原子核の周囲をまわる電子の質量は，陽子の質量の1/1840に相当し，負の単位電荷（e）を持っています．

このように，核外をまわる電子の数と，核内の陽子の数が等しく，しかも符号が逆であるため，原子全体としては，電気的に中性になっています．

つまり，核の総正電荷をEとし，原子番号をZ，電子の単位電荷をeとしますと，

………　$E=Z[e]$　………　　となります．

しかし，分子または原子は，電子を失ったり，または他から獲得でき，電気的に中性でなくなることがあります．

このようにして，電気を帯びたものを **イオン**と呼び，電子を失って正の電気を帯びたものを正イオン，逆に電子を獲得して負の電気を帯びたものを，負イオンと呼びます．

1.3　電子の電荷と質量はどのくらいか？

電子は，原子の中に含まれ，しかも負電荷を持ったきわめて小さい粒子であると述べてきましたが，しかしその反面，波動性を持つ波であると考えられる場合もあります．

この2つの性質は一貫したものではなく，同じ論拠で話しを進めることはむづかしくなります．

そこで一般的に，電子はすべて同一の有効半径〔2×10^{-10}〕cm と電荷〔1.6×10^{-19}〕C，〔9.1×10^{-28}〕g の質量を持っていると考えられています．

ここで，電荷の単位に使われたCは，**クーロン** (Coulomb) と呼ばれ，電気量の単位です．

1クーロンとは，1秒間に1アンペアの電流が流れたときに運ばれる電気量と定められています．

したがって，1アンペアの電流が，1秒流れる間には，$1/(1.6\times10^{-19})\fallingdotseq6.25\times10^{18}$ コの電子が流れることになります．

1.4　原子内電子にはエネルギー準位がある

各元素の電気的な性質，あるいは化学的な性質は，原子核の外にある電子の数と，その配列状態によると考えられています．

もちろん，原子核内の陽子と中性子の個数も各元素によって異なってきますが，この原子核内の論議は省略することにします．

さて，原子核の周囲の核外電子は，すでに述べたとおり，原子核を中心に軌道上を周回していますが，そのときの電子の配置は，太陽を中心とした惑星と同じように，周回軌道を持っています．

▼図2.3　核外電子の配列と個数

核

K殻 2個　L殻 8個　M殻 18個　N殻 32個　O殻 50個　P殻 72個　Q殻 98個

ただし，太陽系軌道と異なるところは，1軌道内に1コの惑星があるのではなく，核から外側にいくほど，軌道に定められた多くの電子がまわることができます．

図 2.3 は，各軌道に入りうる個数を示したものですが，それぞれの軌道には名前が付いていて，内側からK殻，L，M，N，O，P，Q殻と7軌道あります．しかし，電子は各軌道に勝手に入れるわけではなく，必ず，内側から空席をうめていきます．

といいますのは，内殻の軌道ほど，電子の持つエネルギーは少なくてすみ，電子は常に低いエネルギーの位置に落着こうとするからです．

また，同一殻内に存在する電子も，その占める座席によって，若干エネルギーが異なっています．

この同一殻内で，エネルギーに差が生じるのは，それぞれの電子の (a)**運行の角運動量**，(b)**公転の方向と軌道面の位置**，(c)**自転の角運動量と方向** が異なるためで

す．

したがって，(a)，(b)，(c)の各エネルギーの中で定まったエネルギーの値を持つ分類がされており，その分類の組み合せによって，下の **表2.1** の「準位名」に分類した**エネルギー準位**が定められています．

▼表2.1　各元素の核外電子配列

			殻名	K	L		M			N				O	
			準位名	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p
族番	原子番号	名称	おさめられる電子数	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6
Ⅰ	1	H		1											
0	2	He		2											
Ⅰ	3	Li		2	1										
Ⅱ	4	Be		2	2										
Ⅲ	5	B		2	2	1									
Ⅳ	6	C		2	2	2									
Ⅴ	7	N		2	2	3									
0	10	Ne		2	2	6									
Ⅲ	13	Al		2	2	6	2	1							
Ⅳ	14	Si		2	2	6	2	2							
Ⅴ	15	P		2	2	6	2	3							
Ⅲ	31	Ga		2	2	6	2	6	10	2	1				
Ⅳ	32	Ge		2	2	6	2	6	10	2	2				
Ⅴ	33	As		2	2	6	2	6	10	2	3				
Ⅲ	49	In		2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1
Ⅳ	50	Sn		2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2
Ⅴ	51	Sb		2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3

前に述べたことを，表 2.1 によって整理してみましょう．

例えば，原子番号13のアルミニウム（Al）を例にとってお話ししますと，アルミニウムは，原子番号が13ですから，13の電子を核外に持っています．

まず内側のK殻には2コの電子が入ることができます．さらに，L殻には，8コの電子が入ることができるのですが，同一殻内においても，2Sの準位に2コ，2Pの準位に6コ入ることができます．ここまでで，合計10コの電子がおさまったわけですが，さらに残りの電子は外側のM殻に，定まった準位の個数だけ入っていきます．

このようにして，電子は，定まったエネルギーの準位に従っておさまるのですが，もし，電子が外部から加熱されたり，加速されたりして，電子自身の持つエネルギーが，その定まったエネルギーの準位以上になると，電子はどうなるのでしょうか．

電子の持つエネルギーが小さいと，原子核の引力により引きよせられて落着いた運行をしているのですが，エネルギーが増すにつれて，内殻から外殻へ，さらには原子核の引力圏を離れて飛び出してしまいます．

この状態は，通常の温度においても起こっており，電子はたえず熱励起によって乱されているといえます．

したがって，ある準位に存在する電子の数は，確率的に表わすことができるにすぎません．

このようにして，一時的に外部から，エネルギー（ΔE）を受け，電子が，より高いエネルギー準位に励起されたとして，この電子が，もとのエネルギー準位へ復帰するためには，外部より受けたエネルギーを放出しなければなりません．

▼図2.4　励起エネルギーと光

このときの放出エネルギーは，図 2.4 のように光として発散されます．このエネルギー（ΔE）と光の振動数νの間には，次の関係式が成り立ちます．

$$\Delta E = h\nu$$

（ただし，hはプランクの定数）

1.5　結晶内の電子はどのように動くか？

いままで，原子1コの中の電子について考えてきましたが，2つ以上の原子が近接した場合，電子はどのような働きをするでしょうか．

各原子の最外殻をまわる電子は，どの殻の電子よりも，原子核の引力が一番弱いことはお判りだと思います．

この最外殻の電子は，2つの原子が近ずくと，2つの原子間を飛びまわったり原子から離れたりして，化学変化や，化学結合に重要な働きをします．

電子が座席に入っている一番外側の殻，つまり最外殻電子を，**価電子**と呼び，この価電子が原子核の引力圏を離れて行動する場合，その電子を **自由電子** と呼びます．

この価電子が，原子間においてどのような働きをするかによって，原子間結合は，イオン結合，共有結合，配位結合，金属結合などに区分されます．

さて，結晶中においては，原子間の結合が非常に密になっています．

そのため，電子のエネルギー準位が原子相互の間で入りまじり，広い **エネルギー帯域**を持つようになります．

▼図2.5　固体の電子エネルギー帯域

このエネルギー帯域は，図2.5のように，電子の存在できる帯域・**許容帯域**と，電子の存在できない帯域・**禁止帯域**とに分れます．

さらに，許容帯域には，すでに電子がつまっている **充満帯域** と，まだ電子の入る余地のある **伝導帯域**，あるいは1つも電子の入っていない **空乏帯域** とがあります．

これらの空乏帯域あるいは伝導帯域においては，外から電界をかけると，その中の電子は，同じ許容帯域の中で

▼表2.2　固体中のエネルギー帯域の種類

固体中のエネルギー帯域
- 許容帯域
  - 充満帯域
  - 伝導帯域（空乏帯域）
- 禁止帯域

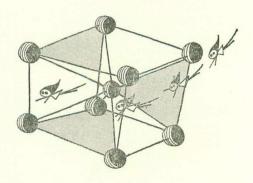
も，より高準位に移動できます．

つまり，結晶中において，これらの禁止帯域，充満帯域，伝導帯域が，どのように配列されているかによって，導体，半導体，絶縁体などの区別が生じるわけです．これについては，第２話 その４ で述べます．

第2話　§その2
金属中の電子はどんな働きをするか？

☞　金属は，原子が格子状に規則正しく並び，結晶を形成しています．

そして，金属原子の外殻電子は遊離して，自由電子として動いています．

では，金属中の自由電子の働きを見ることにしましょう．

2.1　電子はどのようにして流れるか？

金属のような導体中においては，原子が格子状に規則正しく配列され，結晶を形成しています．

すでに前項で述べましたように，金属原子の外殻電子が一部遊離して自由電子となり，原子は電子を失って陽イオンとなっています．

この自由電子が金属イオンの間に一様に分布され自由に動きまわるとともに陽イオンは，お互いに静電気的引力によって結合しています．

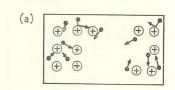
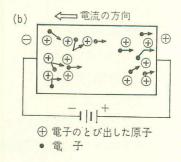
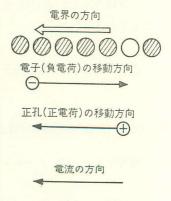
しかし，通常，自由電子は金属外にはみ出ることはなく，そのときの温度による熱エネルギーに励起され，そのエネルギーによって，原子や他の電子と，たえず衝突を繰り返し，運動を続けています．

図 2.6 の(a)図において，金属全体から見ますと，導体中の電子の動きは，右に移動した電子の数と，左に移動した電子の数が平均しているといってもよく，見かけ上は，電子の流れはありません．

ところが(b)図のように，金属導体の両端に電圧をかけ，両端に電位差を与える，つまり電界を加えると，負の電荷を持つ自由電子は熱運動をしながらも，金属両端に印加した電界の方向（電圧の⊕→⊖）とは反対方向に，いっせいに移動し始めます．

このように，電荷が動くことを，電流と呼び，電流は，負電荷の進む方向とは逆に流れると決めます．

さて，原子核と電荷のバランスがとれている電子については，これらの負電荷を持つ自由電子が，⊕の電極側に引っぱられていくと，原子の自由電子の存在した座席は空席となってしまい，あたかも，この空席（正孔）が，図 2.7 のように，⊖の電極に引っぱられ，順次移動していくように考えられます．

▼図2.6　導体中の電子のふるまい

▼図2.7　電流の流れの方向

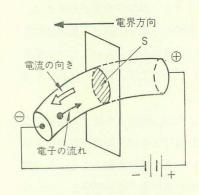
この正孔を，自由電子の負電荷と対等の電荷を持つ正電荷と考えますと，電流の流れの方向は，正孔の移動方向と一致します．

同様にして，電荷の移動が電流を流すことに寄与しているとすれば，はじめに述べました電子を失った陽イオン，および電子を保有した陰イオンの移動も

当然，電流が流れることに寄与しているといってもよいでしょう．

例えば，電解液の中でメッキが行なわれるとき，メッキ液内の電流は，陽イオンと陰イオンの動きによるものです．

また，金属導体中や真空中での電流も，すでに述べましたように，電子，つまり負電荷の動きによるものであるといえます．

▼図2.8　電流の大きさ

では，このようにして流れた電流は，どれだけの大きさを持つでしょうか．

電流の大きさは，ある断面を単位時間に通り抜ける電荷の量で決められます．

図 2.8 において，いま，導体中の断面積を S(m^2)，電子の平均速度を V (m/sec)，自由電子の数を 1(m^3)当り n 個，1個の電子が e（クーロン）の電荷を持ち毎秒N個の電子が流れるとすると，そのとき流れる電流 I は，次の式で表わすことができます．

$$I=Ne=neV\mathrm{S}$$

つまり，電流の大きさは，自由電子の数と，移動速度に比例することが判ります．

2.2　電界中および磁界中での電子はどのように動くか？

電子は，電界中において，クーロンの法則により，電界とは逆の方向の力を受けます．

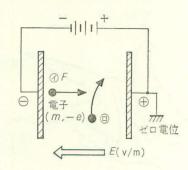
クーロンの法則によれば，Q_1 の電荷と Q_2 の電荷が，r の距離をおいて存在するとき，その間には，

$$F\propto\frac{Q_1Q_2}{r^2}$$ の力が働きます．

それらの電荷が異種の場合には，引力となり，同種の場合には，反発力となります．

現実には，いろいろな電荷が存在しているわけですが，例えば，ある場所に，単位電荷を持ってきたとき，その場所で，他のすべての電荷から受ける力を，その場所の **電界の強さ** であるといいます．

▼図2.9　電界中で電子の受ける力

また，その場所で受ける力に抗して存在するための位置エネルギーを **電位** と呼びます．

普通，大地をゼロ電位として考えますので，大地から重力に抗して，ある高さに存在する質量が，一定の位置エネルギーを持っているのと同じように考えることができます．

つまり，図2.9のように，電界(E)の中に電子が置かれた場合，電子の受ける力(F)は，次の式で表わすことができます．

$$F=-eE$$

この力により，電子は加速され，このときの加速度は……

$$F=-eE=m\alpha \qquad \therefore\ \alpha=\frac{-e}{m}E$$ となります．

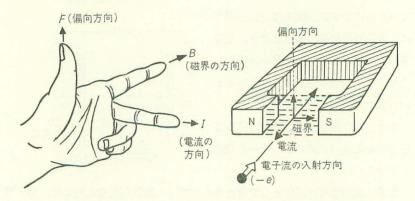
つまり，質量と重力の場合で考えると質量は重力方向に常に加速され，地面に垂直に投げれば，まっすぐ上がり，まっすぐ落ちてきます．

電界の場合にも，図2.9の㋑の電子の受ける力は同じように，まっすぐゼロ電位へ吸いよせられます．ところが，質量が地面と水平に投げられた場合，しだいに曲り，ついには地面に落下してしまいます．

これと同様に，図2.9の㋺の電子も，電界の方向とは逆の方に曲げられ，ついには，吸いつけられてしまいます．

では，電界中と同様に磁界中において，電子はどのような力を受けるかを見ることにしましょう．

磁界中においては，電子が静止した状態である限り，何の作用も受けません．

▼図2.10　磁界中で電子の受ける力

しかし，電子が磁界と垂直な成分を持った運動を行なうとき，図2.10のように，フレミングの左手の法則に従って，電磁力を受けます．

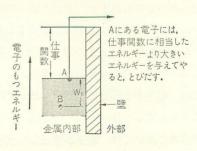
このように，電子が磁界中で，電磁力を受けることによって偏向されることを，**電磁力偏向**と呼びます．

2.3　金属外へ電子は飛び出る

普通の状態では，金属中の自由電子は金属外に飛び出ることはありません．

それは，金属面と電子の間に強い引力が働いているためですが，外部から十分なエネルギーが与えられ，電子が励起されると，電子の運動は盛んになり，金属表面との引力を振り切って，飛び出してしまいます．

いま，図2.11のように，電子が金属外に飛び出ることを妨げている引力を，１つの壁として表わしますと，電子はこの壁の高さよりも高いエネルギーを得ることにより，金属外に飛び出すことができます．

▼図2.11　金属の仕事関数

このように，金属の内部にある電子を外部に引き出すのに必要なエネルギーを$e\phi$，または電位差ϕで表わし，これを**仕事関数**といい，その単位は，電子ボルト (eV)，またはボルト (V) が用いられます．

さて，電子放出の現象としてよく見られるものとしては，熱電子放出，光電子放出，電界放出，二次電子放出などがあります．

熱電子放出は，金属を真空中で高温に加熱したような場合，電子が熱エネルギーにより励起され金属外に放出されるものですが，このとき放出される電子を熱電子と呼びます．

光電子放出は，金属などに光を当てると，電子が光のエネルギーによって励起され，物質外に放出されるもので，放出される電子を**光電子**と呼びます．

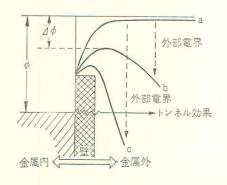
また，この現象を**光電効果**と呼びます．

電界放出とは，金属面に加える電界強度を増していくと，外部電界によって金属の仕事関数が減少し，ついには，金属外に一部の電子が放出する現象をいいます．

すでにお判りだと思いますが，前者の電子の放出方法は，電子自体を励起し，飛び出させたわけですが，電界放出は，電子が飛び出すのに必要なエネルギー，つまり仕事関数を減少させ，電子が飛び出しやすいように，壁を低くする方法というわけです．

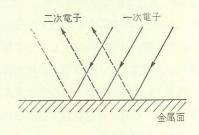
▼図2.12　ショットキー効果とトンネル効果

図2.12において，外部電界が0のときは，金属の表面から外部の真空空間への電位分布は，曲線aのようになり，高い壁を飛び越えなければならないことを示しています．次に，電界を加えると，曲線bのように，仕事関数が$\Delta\phi$だけ下ります．これを**ショットキー効果**と呼びます．

また，さらに電界を増していき

ますと，曲線cのようになります．

しかし，ショットキー効果以外にも電子の波動性により仕事関数の壁を通り抜ける**トンネル効果**という現象が起こります．

▼図2.13　二次電子放出

さて，最後に，二次電子放出ですが，これは金属などの表面に電子が衝突すると，その一部は反射し，他の大部分はその運動エネルギーを金属表面に与えるため，図2.13のように，表面の電子が励起されて，外部に放出される現象をいいます．

このとき，最初に衝突した電子を一次電子，放出された電子を二次電子と呼びますが，一次電子の持つエネルギーによって，最適な二次電子放出比が存在します．

電子工学の初期には，このようにして低気圧中，または高真空中に電子を取り出し，その運動を制御し，利用することが試みられ，各種の放電管や真空管の開発がなされてきました．

第2話　§その3
真空中の電子はどんな働きをするか？

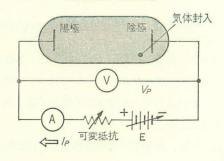
☞ 完全真空中の電子の働きは，外部からの電界，または磁界により，加速されたり偏向されるだけで，その行動自体には電子工学的に見て，特に興味のあるものではありませんが低圧の気体中の現象や，真空中への電子の放出を制御するもの，真空中にいろいろの電界や磁界を設けて電子の行動を制御したもの，さらには，真空中の電子を特定な方法で受け取ることにより，ある効果を生み出しているものなど，真空を媒体として電子の運動を制御する部品や装置の数は多く，電子工学の初期から，その発展に大きく貢献しています．

3.1　放電現象とは？

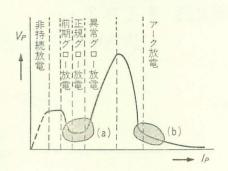
図2.14のように，気体を封入した管に，電界を加えていきます．

電圧がまだ低い間は，気体は絶縁物として働き，電子は，その気体分子やガス原子の引力圏内でしか行動できません．

したがって，自由電子の発生は見られず，電流はほとんど流れません．

▼図2.14　放電現象の測定回路

▼図2.15　放電現象の電圧―電流特性

しかしこの状態でも，突発的に飛び込んでくる放射線などによって電離作用が起き，非持続的に電子と陽イオンが発生し，**暗流**と呼ばれる微小な電流が流れます.

次に，電圧をしだいに増していきますと，電子が電界エネルギーによって励起されて原子から飛び出し，原子が陽イオンと電子に電離し，電離された電子が気体分子に衝突して，さらにその分子を電離します.

このように，電子の衝突，電離作用の繰り返しにより，急激に電子が増大する現象を，**電子なだれ**と呼びます.

このとき，気体は放電し，放電電流が流れますが，このときの電圧が**破壊電圧**であり，この破壊電圧は封入された気体の種類圧力によって変ります.

いま，電流 I_p を 0 から順次増加させていくとき，電極間電圧降下 V_p と電流 I_p との関係は，図2.15のような特性曲線を示します.

図中の(a)の部分は，陰極付近に気体分子が励起されて，淡い発光を生じますが，この部分を**グロー放電**といいます.

また(b)の部分は，強い発光をともない，**アーク放電**と呼ばれています.

これら(a)，(b)の放電を，**持続放電**と呼びます.

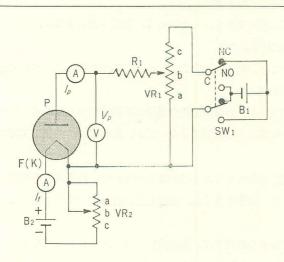
3.2　二極管の中で電子はどのように動くか？

電子を放出する陰極（カソード）と，放出された電子を集める陽極（プレート）の２つを持つ二極管については，すでに，第１話でお話ししましたが，今度は，この二極管の真空中での電子の動きが，どのような特性を示すのかを見ることにしましょう.

図2.16は，二極管の特性を測定する回路図です.

さて，B_1，B_2は，それぞれプレート（P）およびフィラメント（F）に電圧を与

◀図2.16
二極管の特性
測定回路

▼図2.17
V_p—I_p 特性

える直流電源，VR_1, VR_2 はプレート電圧，フィラメント電流を加減する可変抵抗，V，A はプレート電流 I_p，プレート電圧 V_p，フィラメント電流I_Fを測定する直流電圧計および直流電流計です．

さらに，SW_1は，フィラメントに対して正負の電圧を，プレートに与える切換スイッチです．

いま，SW_1をC—NC側にし，VR_1 を，a→b→cと動かすことによって，V_pを⊕側に上げていくと，I_pは，図2.17の a→b→cの特性を示します．

次に，SW_1をC—NO側にして，再びV_pを，a→b→c と⊖側に下げていけば，I_p は，図2.17の a→b′→c′ の特性を示します．

この V_p—I_p 特性曲線は，図のように，〔A〕，〔B〕，〔C〕の3つの領域に分けることができます．

〔A〕の領域においては，プレートが負電位であるために，熱電子は陰極方向

に力を受けて，陽極に到達できず，したがって，電流は流れません．

この領域を**遮断領域**と呼びます．

〔B〕の領域においては，V_p を上げていくと，はじめは徐々に，ついで急に電流が増加していきます．

これは，V_p が低い間は，負電荷を持つ電子が正電位である陽極に，すべて吸収されず，陰極から飛び出した熱電子の一部が，陰極付近に滞留して集まるからです．

つまり，この負電荷の集まりである空間電荷のために，陰極側に静電誘導によって正の電荷ができ，陰極の近くに，陽極電圧と逆方向の電界が生じるからです．

さてI_pが急激に増加する領域では，陽極電圧の3/2乗に比例して陽極電流が流れますが，この領域を，**空間電荷制限領域**と呼んでいます．

次に〔C〕の領域ですが，この領域においては，陽極電流は，ほぼ一定になり飽和している状態です．

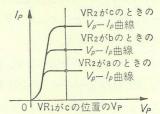
これは，陽極電圧がある値以上になると，陰極から放出された電子は，電界エネルギーが強大であるために，空間電荷として滞留できず，すべて陽極に流れ込むためです．

このときの陽極電流は，陰極からの電子の放出量によって決まります．

この領域を，**飽和領域**，または**温度制限領域**と呼んでいます．

また，〔C〕の領域での特性は，フィラメント電流によって飽和するI_pの値が変わり，VR_2をa，b，c点に固定して，図2.17と同じ V_p—I_p 特性を測定しますと，図2.18のようになります．

この図において，VR_1がcで固定されたI_pを見ますと，aの箇所のI_pより多くの飽和電流が流れることを示しています．

▼図2.18　飽和領域の V_p—I_p 特性

3.3　三極管のしくみとその中での電子の働き

次に，真空管の最も代表的な三極管の特性によって，電子がどのように動いているかを考えてみましょう．

さて，二極管において，陽極電流は空間電荷によって制限を受け，陽極電圧を変えることにより，陽極電流が変化しました．

しかし，三極管では，陰極と陽極の間に，電子が通過できる格子状の電極（グリッド電極）が設けてありますので，この格子に，適当な負電荷を与えることによって，陽極電圧が一定でも，陽極電流を変化させることができます．

下の図2.19は，三極管の働きを測定するために組まれた回路図です．

この回路において，格子に電圧を加えない場合の陽極電圧と陽極電流の関係は二極管と同様ですが，ある陽極電圧のときに，格子に十分な負電圧をかけますと，陰極から放出された熱電子は，負の空間電荷と格子の負電圧によって逆電界となり，陰極方向におい返されてしまいます．

したがって，陽極電流は流れません．

このときの負電圧を，**格子しゃ断電圧**（カットオフ電圧）と呼びます．

次に，格子の負電圧を徐々に0に近ずけていきますと，陽極電圧による電界への影響がしだいに強まり，それにつれて陽極電流も大きくなります．

さらに，格子に正の電圧を加えますと，空間電荷がなくなり，逆に陰極から電子を吸引する力が増して，陽極電流は急増します．

▶図2.19
三極管の静特性の測定回路

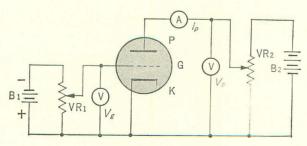
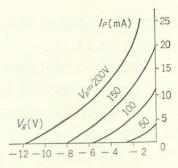



図2.20 は，三極管のグリッド電圧とプレート電流の関係を示したV_g—I_p特性の一例です．

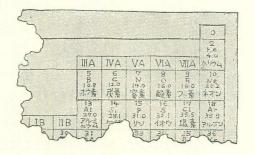
前ページの図2.19 の回路によって，いま，$V_g=-2.5$Vに一定にしておき，陽極電流を，0〜20mA 変化させようとすると，VR_2 の可変抵抗を操作し図2.20 で判りますように，V_p を 50〜200Vに可変しなければなりません．

▼図2.20　三極管の V_g—I_p 特性

しかし，グリッド電圧(V_g)でプレート電流（I_p）を変化させるとすれば，プレート電圧(V_p)を150Vに一定にしておいても，V_pを−8〜0Vに可変するだけで可能です．このように，三極管においての最大の特長として，グリッドに小さな制御電圧を加えることで，陽極電流を変化させることができるという信号増幅作用があることです．

すでに，真空管には，その他，陰極や格子電極，陽極などをいろいろ改良して，さまざまの機能を持つ電子管が開発されてきていますが，真空中での電子の行動は，いままでお話ししてきました延長線上にあると考えてください．

第2話　§その4
半導体中の電子はどんな働きをするか？

導体，半導体，絶縁体の用途については，第3話で詳しく述べます．

ここでは，いわゆる 10^{-5}～$10^{4}\Omega$ の抵抗率を持つ半導体類で，現在，最も盛んに利用されているシリコンを例に，半導体内の電子の動きについて考えることにしましょう．

4.1　真性半導体とは？

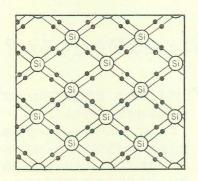
シリコン（Si）は，炭素（C），ゲルマニウム（Ge），錫（Sn），鉛（Pb）などと同じく，周期律表の第IV族に該当します．

前にもどって，72ページの**表2.1**　各元素の核外電子配列を見てください．

第IV族に属する元素は，最外殻の価電子を4コ持っていることが，お判りになると思います．

このような原子が，多数集合して結晶を作っている場合次のページの**図2.21**に示すように，それぞれの隣接した原子間で電子を共有して，いわゆるダイヤモンド構造を形成しています．

このような結合を**共有結合**と呼びます．

▼図2.21　ダイヤモンド構造

▼表2.3　4価元素の抵抗率

4価元素	抵抗率
C（炭素）	10^{13}
Si（シリコン）	2.3×10^{5}
Ge（ゲルマニウム）	4.7×10
Sn（錫）	10^{-4}
Pb（鉛）	10^{-5}

ここでもう一度，核外電子配列表を見ますと，炭素，シリコン，ゲルマニウム，錫，鉛の価電子の数は，同じ4つではあるのですが，エネルギー準位は，それぞれL，M，N，O殻にあるとことが判ります．

つまり，原子核からの引力が順次，弱くなっているというわけです．

したがって，価電子に対する原子核の引力が一番強い炭素においては，この価電子が共有結合から離れることができません．

ということは，炭素は電荷を運ぶことができず，絶縁体として作用するというわけです．

一方，炭素とは逆に，錫や鉛の場合には，価電子の一部が，常に自由電子として飛びまわっているため，完全な共有結合ができず，導体としての特性を示します．

また，シリコンやゲルマニウムの場合には，前の2種類の，ちょうど中間的な特性を示し，いわゆる半導体と呼ばれるゆえんです．

これらシリコンやゲルマニウムは，常温程度の熱エネルギーで，その共有結合の一部がくずれ，自由電子が結晶内を移動します．

以上のことは，表2.3の抵抗率からもお判りになると思います．

さて，このようにして自由電子となった電子が，共有結合の他の部分に移動しても，その部分ではすでに過剰電子であり，電子は結合されません．

このことは同時に，負電荷の移動を意味しています．

一方，価電子が自由電子として，飛び出したあとの共有結合には，電子のぬけた穴が残ります．

この穴は，逆に正電荷が発生したとも考えられますので，**正孔**（ホール）と呼んでいます．

▼図2.22　電子および正孔の移動

この正孔は，他の共有結合からの価電子を引きつけ，中性の状態にもどり，安定な共有結合の状態に復帰しようとします．

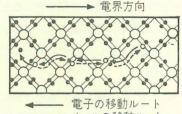
このように1つの正孔は他の新たな正孔を作り，正孔が移動していく結果となり，ここに正電荷の移動が生ずるわけです．

このように，半導体の伝導には，電子伝導と正孔伝導とがありますが，自由電子および正孔を，電荷を運ぶものという意味で，**キャリヤー**と呼びます．

図2.22は，電子と正孔の移動の状態を示したものです．

ところで，純粋なシリコンやゲルマニウムにおいては，常に自由電子の数と正孔の数が等しく，その数は，温度の熱エネルギーによって決まります．

したがって，温度が一定であれば，その抵抗率も一定値を示すことになります．このように，純粋な半導体を**真性半導体**と呼んでいます．

4.2　不純物半導体とは？

電子工学に用いられる半導体は，主に高純度を有する真性半導体に，わずかな不純物を加え，その量を制御することによって，特有の電気特性を持たせてあります．

ちなみに，材料として使用されるシリコンの純度は，99.9999999999％ 程度ですが，これが真性半導体です．

いま仮に，この真性半導体に不純物として，第V族の元素，例えばひ素（As）をわずかに加えてみることにしましょう．

ひ素原子の価電子数は5コですから，次のページの図2.23のように，隣接するシリコン原子と共有結合を形成した場合，必ず1コの価電子が過剰電子とな

ります.

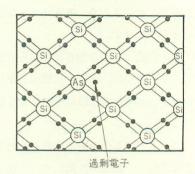
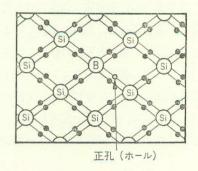
このようにして，不純物のひ素原子の数だけ，過剰電子が存在することになり，結晶中の電気伝導は，主としてこの負電荷を帯びた電子によって行なわれます.

このような半導体を，**N形半導体**と呼び，その不純物を**ドナー**と呼びます.

一方，不純物として，第Ⅲ族の元素例えば，ほう素(B)をわずかに加えた場合，ほう素原子の価電子数は3コですから，図2.24のように，隣接するシリコン原子と共有結合を形成するとき，必ず1コの価電子が不足し，正孔が発生することになります.

正孔は，不純物のほう素原子の数だけ存在することになり，結晶中の電気伝導は，主に，この正電荷である正孔によって行なわれます.

▼図2.23　N形半導体とドナ原子

▼図2.24　P形半導体とアクセプタ原子

このような半導体を，**P形半導体**と呼び，その不純物を**アクセプタ**と呼びます.

以上のような，真性半導体に，ドナーかアクセプタを混合したものを**不純物半導体**と呼びます.

この不純物半導体においても，真性半導体と同様に，温度が高くなると抵抗率が下がりますが，不純物半導体においては，さらに，不純物の混入量を増すことによっても，抵抗率を下げることができます.

ですから，不純物の混入量を増減させることによって，希望する抵抗率の半導体を作ることができるわけです.

前に，真性半導体においては，キャリヤーである電子と正孔の数が同じであることを述べましたが，N形半導体においては，当然，電子の方が正孔よりも多く存在しますので，この場合，電子を**多数キャリヤー**，正孔を**少数キャリヤー**と呼びます．

さて，P形半導体の電気伝導の主役は，多数キャリヤーである正孔ですが，少数キャリヤーである電子も，重要な役目を果します．

これは，トランジスタやダイオードの機能について説明するとき，お話しすることにしましょう．

4.3　半導体中をどのように電気は流れるのか？

半導体内の電気伝導は，キャリヤーとしての電子，または正孔によって，電荷が運ばれることをすでに述べましたが，それぞれの伝導機構には，さらに，電界による**ドリフト**と，キャリヤー濃度の勾配による拡散の２種類があります．

電界によるドリフトとは，半導体中に，電界がない状態で，図2.25の(a)のように全くランダムなブラウン運動を行なうのですが，一方，電界のある半導体内では，(b)のように，熱によって振動している結晶格子に衝突しながらも，とにかく電界の方向に進んでいく現象をいいます．

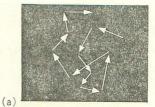
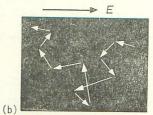
また，このドリフトは，正孔についても同じことがいえます．

次に，濃度勾配による拡散現象ですが，例えば，この現象は，水中に１滴のインクをたらしたとき，インクが拡っていくのと同じことです．

半導体内においては，いま，１群の過剰電子を，結晶内に注入しますと，電子はラ

▼図2.25　半導体内の電界によるドリフト

(a)
電界がないときの電子の熱運動

(b)
電界があるときの電子のドリフト

ンダムな熱運動を続けるうちに，八方に拡っていきます．

▼図2.26　結晶内の電子の拡散の様子

(a) 拡散前

(b) 拡散後

図2.26 は，この様子を示したものですが，この現象は正孔についても同じことがいえます．

では，以上のことを基礎として，具体的に，ダイオードやトランジスタ接合における，電子の動きについて考えてみましょう．

4.4　PN接合とは？

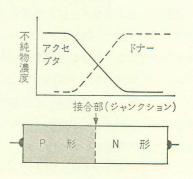
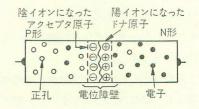
P形半導体とN形半導体を，図2.27 のように接合したものを，PN接合と呼びます．

この構造が，ダイオードの原理であり整流特性を持っています．

そこで，このPN接合における電子の動きを考えてみることにしましょう．

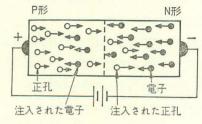
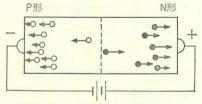
P形部分には，多数キャリヤーとして正孔が，少数キャリヤーとして電子が存在しています．N形部分には，多数キャリヤーとして電子が，少数キャリヤーとして正孔が存在しています．

このため，接合部を境として，各キャリヤーの密度が異なり，P形部分の正孔はN形部分へ，N形部分の電子はP形部分へと拡散しようとします．

▼図2.27　PN接合

▼図2.28　PN接合内の電子の動き

しかし，P形部分から正孔が，N形部分から電子が拡散して移動しようとするとき，P形部分には，電子を得て負にイオン化したアクセプタ原子（例えばほう素原子）と，N形部分には，電子を失って正にイオン化したドナー原子（例えばひ素原子）が残ります．

この残った不純物原子が，互に静電誘導作用により，それぞれのキャリヤーに対する正負の空間電荷となり，図2.23のように電位障壁を形成します．

したがって，無電界の状態ではキャリヤーは接合部を越えて移動することは，ほとんどありません．

▼図2.29　電圧をかけたＰＮ接合の電子の動き

(a) 順方向にバイアスされたPN接合

(b) 逆方向にバイアスされたPN接合

では次に，図2.29のように，電圧をかけた場合に，電子の動きはどうなるでしょうか．

まず，(a)図のように，Ｐ形部分に正，N形部分に負の電圧をかけますと，ある一定以上の電圧によって，キャリヤーは，それぞれの電圧に引かれ，接合部の障壁を越えて移動します．

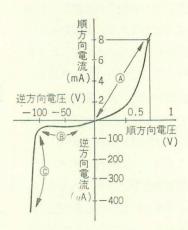
このようにして，電子および正孔は，それぞれ再結合して消滅しますが，それと同数の電子と正孔が，正負の電極から補給されるため，連続して電流が流れることになります．このように，Ｐ形部分に正，N形部分に負の電圧をかけることを，**順方向に電圧**をかけるといいます．

逆に，Ｐ形部分に負，N形部分に正の電圧をかけることを，**逆方向に電圧**をかけるといい，(b)図のように，キャリヤーはそれぞれ両側の電極に引かれるため，ＰＮ接合部分にキャリヤーが存在しなくなり，電流は流れません．

▼図2.30　ＰＮ接合の整流特性

このように，ＰＮ接合においては，順方向に電圧をかけると電流が流れ，逆方向に電圧をかけると電流が流れない性質を持っています．

すでにお判りのように，これは，真空管の二極管と同じ特性であり，このＰＮ接合の整流特性の原理を利用した半導体素子を，ダイオードと呼びます．

図2.30は，その特性を示したものですが，順方向，逆方向の電圧一電流の値を注意して見てください．

図において，Ⓐの部分は，ＰＮ接合が順方向に電圧を印加されている場合で，Ⓑ，Ⓒの部分は，逆方向にバイアスされている場合です．

ここで，Ⓑの部分に，わずかながらも電流が流れていますが，熱エネルギーによって，少数キャリヤーが移動して，逆方向の電流が流れるからです．

また，Ⓒの部分は，逆方向電圧が，ある一定値を越えて増大すると，逆方向電流が急激に増大することを示しています．

この現象は**降服現象**と呼ばれていますが，その原因として，電子なだれ現象とツエナー現象とが考えられます．

しかし，これらの現象の詳細は，ここでは必要ありませんので，後に述べることにしますが，もし，破壊される前に，逆方向電圧を下げれば，特性は再びもとの値をとり，原点にもどります．

4.5　トランジスタの中での電子の動き

▼図2.31　接合形トランジスタの構造

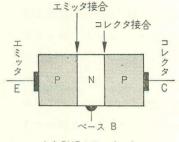
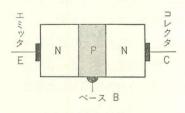
(a) PNPトランジスタ

(b) NPNトランジスタ

トランジスタの特性については，後に述べることになりますので，ここでは，トランジスタの原理である三極接合の内部で，電子がどのように動くかを見ることにしましょう．

トランジスタの構造を，モデル的に示しますと，図2.31のように，ＰＮ接合部分を２カ所持っています．

図のように，中央をN形にするか，Ｐ形にするかの２通りの組み合せがありますが，(ａ)図をＰＮＰトランジスタ，(ｂ)図をＮＰＮトランジスタと呼んでいます．

それぞれの呼び名は，左から，電極をエミッタ(Ｅ)，ベース(Ｂ)，コレクタ(Ｃ)と呼びますが，中間のベースは，実際には数10ミクロン以下の薄い層として作られています．

ＰＮＰトランジスタとＮＰＮトランジスタとは，電極へ印加する電圧の極性を逆にすれば，全く同じ働きをするものですから，ここでは，ＰＮＰトランジスタだけについて説明することにします．

次のページの図2.32の(ａ)図の場合，外部から電圧を加えていないときは，ＰＮ接合でお話ししたのと同様に，どちらのＰＮ接合部にも，空間電荷による電位障壁ができ，キャリヤーが拡散することができず，電流は流れません．

(ｂ)図のように，エミッタとベースの間に，順方向の電圧(V_{EB})を印加した場合，Ｐ形部分に存在する正孔と，N形部分に存在する電子が，それぞれの電

圧に引かれて，またさらに正孔と電子が注入されるため，順方向電流(I_E)が流れます．

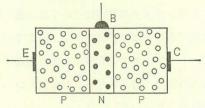
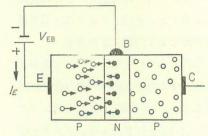
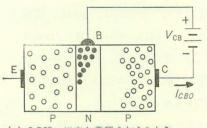
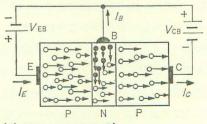
次に，(c)図のように，コレクタとベース間に逆方向の電圧を印加した場合，それぞれのキャリヤーが両側の電極に引かれ，接合部にキャリヤーが存在できず，電流は流れません．しかし，熱エネルギーが少数キャリヤーを働かせるので，わずかばかりの，逆方向電流（I_{CBO}）が流れます．

以上のことは，すでに述べましたＰＮ接合と全く同じです．

しかし，(d)図のように，Ｅ―Ｂ間に順方向電圧を，Ｃ―Ｂ間に逆方向電圧を同時に印加した場合はどうなるでしょうか．

Ｅ―Ｂ接合部においては，エミッタから正孔がベースに注入され，その一部は，ベースの電子と再結合するのですが，エミッタのＰ形部分の不純物濃度は，ベースのＮ形部分の不純物濃度よりも大きくしてあるため，正孔の全部が再結合により消失することはありません．

このようにして残った正孔は，

▼図2.32　ＰＮＰ 接合に電圧を加えたときの電子の動き

(a) 無電圧のとき

(b) E-B間に順方向電圧を加えたとき

(c) C-B間に逆方向電圧を加えたとき

(d) E-B間に順方向電圧
C-B間に逆方向電圧 } を加えたとき

N層が数10ミクロンと薄いため，キャリヤーの拡散現象によってベースを通り抜けてしまい，C－B接合部に達し，コレクタに加えられている高い電圧に引かれて，コレクタに流れ込み，コレクタ電流(I_C)が流れます．

このとき，ベース電極からはベース内で再結合によって消失した電子を補うため，電子が放出され，ベース電流(I_B)が流れます．

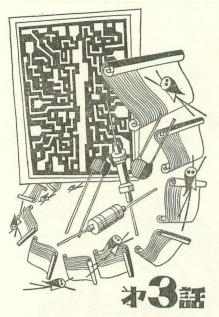
この I_E，I_B，I_C の間には次の関係があります．

$$I_E = I_B + I_C$$

一般に，接合トランジスタにおいては，エミッタ電流の95～99%がコレクタ電流です．

したがって，ベース電流の微小変化によって，コレクタ電流を増幅して変化させ，取り出すことができます．

これは，すでにお話ししました，三極真空管において，微小なグリッドの電圧変化を，プレートの電流変化に増幅して取り出すことができたのと同じ機能に相当します．

トランジスタの特性を考えるときには，キャリヤーとしての電子あるいは正孔の動きを考えることが大切ですが，いままでの話しを十分理解していただければ，第3話以後は，みなさんの応用考察によって，十分理解できます．

ELECTRO-NICS

疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス・1

《実用基礎編》

疑問にこたえる エレクトロニクスの 電子部品

第3話においては，いろいろな電子部品について，その部品を構成している材料を中心にお話しします．

第3話の理解は，第4話の理解を助けるものですが，材料による分類から各部品を分け，その使用上の注意に触れていきます．

一般に，使用頻度の高いエレクトロニクスの部品としては，下記のものがありますが，これら代表品種についてお話しすることになります．

（i） 自動制御用機器

（ii） 抵抗体

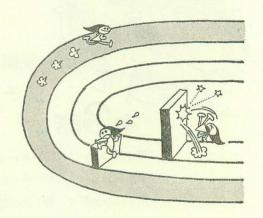
（iii） コンデンサー

（iv） コイルと変圧器

（v） 回転機

（vi） 半導体類

第3話 §その1
導体，半導体，絶縁体とは？

☞ 電子部品を構成する主な材料として，導体材料（金属材料），半導体材料，絶縁体材料などがあります．

1.1 電子部品を構成する材料とは？

機械装置は厳しい環境の中で使用される場合があります．

例えば，高温，または低温雰囲気の中で，あるいは振動衝撃の多い場所や湿度の多い場所，水，または海水にさらされて使用されることもあります．

これらの環境に対し，先頭に立って直面する機械部分とは対称的に，その制御装置の構成部品は，割に，おだやかな環境内に設置されます．

とはいえ，部品の構成材料の適応条件から考えますと，やはり電子部品として厳しい耐環境試験に合格したものでなければなりません．

電子部品の主な環境試験には，次のようなものがありますが，これらの環境試験の中で，電子部品は，個々の特性を維持しなければなりません．

通常，各部品の環境試験方法は，米国軍用規格 **MIL-STD** (MILITARY—STANDARD) を基礎にしています．

では，MIL に規定された方法を抜粋してみましょう．

■A　温度サイクル試験

−65°C（または−55°C）と125°C（または85°C）の雰囲気中を，25°Cに10〜15分保持することを経由して，繰り返し5回移し換えます．その試験の前後に電気特性を測定します．

■B　高温度（寿命）試験

高温雰囲気中で，長時間の放置，または動作条件を与えて，特性変化を測定します．温度は，70°C，85°C，100°C，125°C，150°C，200°Cのいずれかとし，規定時間は，96時間，250，500，1000，2000, 3000, 5000, 10000, 30000, 50000時間から選びます．

■C　耐湿試験

相対湿度90〜95%，温度40°Cの雰囲気において96時間，240，504，1334時間放置，または動作条件を与えた後，特性測定を行ないます．

■D　真空試験

真空ポンプで排気される気密試験槽で，大気圏外における圧力を仮想しての試験です．

■E　塩水耐腐食試験

35°Cの雰囲気において，塩分5%，または20%の塩水を部品に霧化噴射させ48時間，または96時間後に特性測定を行ないます．

■F　振動試験

部品の取り付け方向に対し，X，Y，Zの各方向について，それぞれ2時間ずつ振幅1.5mmの10〜55Hzを，1分間で一様に変化する単純調和振動を加えた後，特性測定を行ないます．

■G　衝撃試験

部品を規定の高さから落下させたり，容器内で転動させたり，部品を固定し

外部から衝撃力を与えたりした後，特性測定を行ないます．

以上のような，かなり厳しい試験に合格するためには，電子部品の材料が，当然，問題になります．

電子部品に，主に使われる材料として，次のようなものがあります．

1.　導体材料（金属材料）——銅，鉄，アルミニウム，銀，ハンダ

2.　半導体材料——ゲルマニウム，シリコン

3.　絶縁体材料——ガラス，フェノール樹脂，エポキシ樹脂，ゴム，油，紙

このような材料独自の特性と共に，材料の組み合せによって作られる特性，例えば，ハンダと銅との接続，ガラスと金属との接続などに対しても，十分な注意が払われなければなりません．

1.2　導体の機能とは？

導体として，主に使われる材料は金属材料ですが，その種類と形態を表3.1に示します．

これらの導体中を電気が流れるとき，電気作用によって，次のような現象を起こすことができます．

（i）発熱作用（真空管フィラメント，表示灯に顕著な利用例）

（ii）電磁作用（トランス，マグネット，コイルに顕著な利用例）

▼表3.1　導体の種類とその利用形態

材　料	用　途　例	主たる機能
銅　系	配線材，導電板材	通電
鉄　系	磁性材，筐体，機構体	磁界を作る
アルミニウム系	外囲器材，配線材	帯電させる
銀　系	接点材	抵抗体（発熱体）
ハンダ系	導電接着材	感磁力体
ニクロム系	発熱体	筐体

(iii) 化学作用（電解コンデンサーに顕著な利用例）

このように，電気作用を利用して，いろいろな機能を持つ部品を作ることができるのですが，一方，これらの作用は，各導体に，いろいろな制限を与えることにもなります．

例えば，1本の導線について考えてみますと，その導線に流すことのできる最大電流は，その線材の固有抵抗断面積，絶縁被覆材料の耐熱性，被覆線外の雰囲気の条件から決められます．

といいますのは，線材の発熱作用による温度上昇から，温度限界を越えないように，使用されなければならないからです．

つまり，線材の発熱は線材の断面積1cm^{2}につき，1cmの長さの抵抗値（固有抵抗値＝$\mu\Omega\cdot$cm〈マイクロオーム・センチメートル〉）の小さい材料ほど，少なく，したがって，固有抵抗値の小さい銅材が多く使われるわけです．

このように，目的の機能を効率よく果すためには，それぞれの導体の特性をうまく利用することが必要です．

例えば，通電により，その線材のまわりには磁界ができますが，この磁界を効率よく伝達，維持するには，透磁率の高い鉄系材料が使われます．

では，利用頻度の多い導電材料の電気特性を次の表 3.2 に示しておきます．

▼表3.2　導電材料の電気特性

材　料　名	固有抵抗（$\mu\Omega\cdot$cm）	抵抗の温度係数*（20°Cにて）	比　　重
銅	1.69	0.00393	8.92
鉄	10.0	0.0050	7.86
アルミニウム	2.62	0.0039	2.7
銀	1.62	0.0038	10.5
錫	11.4	0.0042	7.35
ニクロム	100〜110	0.00002	8.0〜8.2
マンガニン	42〜48	0.00001	8.15

* 抵抗の温度係数とは，温度が1°C上昇するとき，抵抗の増加する率

1.3　半導体の機能とは？

半導体の種類と利用形態とを，下の表 3.3に示します．

▼表3.3　半導体の種類と利用形態

材　料　名	用　途　例	機　能
ゲルマニウム(Ge)系材料	ダイオード，トランジスタ	整流，増幅
シリコン(Si)系　〃	ダイオード，トランジスタ，サイリスタ	整流，増幅
セレン(Se)系　〃	ダイオード，バリスタ	整流
ビスマス・テルル(Bi_2Te_3)系〃	電子冷却素子	ペルチエ効果作用(A)
硫化カドミウム(CdS)系　〃	光電導素子	光導電作用(B)
ガリウム燐(GaP) ガリウムひ素(GaAs)系〃	発光素子	発光作用(C)

整流作用，増幅作用については，すでにお話ししてありますので，他の作用について簡単に説明しておきます．

電子冷却，光電導素子，発光素子は，今後，機械と制御装置との結合においてセンサー（機械装置の状態── 位置，圧力，力，温度など──を検出し，電気信号に変換するもの）や，またはアクチュエーター（電気信号を機械装置などの状態に変換するもの）として，多く利用されるでしょう．

■A　ペルチエ効果

二種類の物質が接合されているとき，一方向に電流を通ずると，その接合面において，熱発生，または熱の吸収（冷却）が行なわれます．

実際の利用にあたっては，冷却される方向に電流を通ずることが多いのですが，そのままの接合においても，冷却される方向と逆の方向の電流を通電することにより，加熱が行なえますので，低温恒温槽の温度制御に使われます．

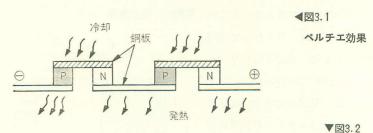
◀図3.1
ペルチエ効果

ここで利用される二種類の物質としては，Bi_2Te_3 のＰＮ接合，Bi_2Te_3 と Bi，Sb_2Te_3 と PbTe のそれぞれのＰＮ接合が使われます．

図 3.1 のように，一面で冷却されると，他面の接合面において，相当の発熱が行なわれるため，発熱側には，例えば水，または金属放熱板などによって，放熱を行なわねばなりません．

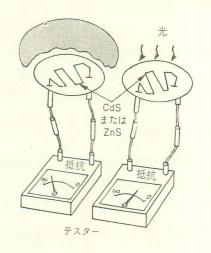
▼図3.2
光導電作用

B　光導電作用

図 3.2 のように，物質の表面に受ける光のエネルギーによって，物質両端における固有抵抗値が変化します．

したがって，光の量によって，電流の大きさを制御することができます．

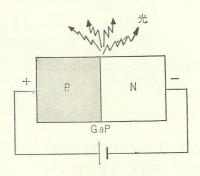
この物質としては，CdS，または ZnS が利用されます．

C　発光作用

二種類の物質接合面に，一方向の電流を通ずると，発光する現象があります．

これは，第２話において，高いエネルギーを持った電子が，低いエネルギー

▼図3.3　発光作用

の準位の座標に移るとき，そのエネルギーの差は，光となって放出されることを，すでに述べましたが，これと同じように，GaAs, GaPなどのⅢ－Ⅴ族の化合物半導体において図3.3のようにPN接合を作り，電界を与えますと，電子が正孔の座標に落ち込み，光となって放出します．このように，これらの物質では，発光の効率が高いことから，発光素子が作られています．

GaAs，GaP の他にも，Ⅲ－Ⅴ族化合物として，GaN，InP などがありますが，特に，GaP．GaAs の工業化が，現在進んでいます．

1.4　絶縁体の機能とは？

絶縁体の種類と利用形態は，下の表3.4のとおりです．

▼表3.4　絶縁体の種類とその利用形態

材　料　名	用　途　例	機　能
ベークライト	絶縁基板一端子台，プリント基板，ケーシング	絶　縁
ビニール，アクリルエポキシ	プリント基板，配線被覆	〃
ゴ　ム	配線被覆	〃
油	絶縁スペーサー（コンデンサー）	〃
紙	トランス絶縁油，オイルコンデンサー	〃
ガラス，陶磁器	高圧碍子，密封筐体	〃

表のように，同一機能の絶縁の目的とはいっても，使用される材料が多岐にわたっているのは，使用条件に対する，耐熱性，耐腐食性，および耐電圧，高周波に対する誘電率などの特性を選択し，品質を保ちうる安価な材料の究明がなされることによります．

しかも，電子部品には，必ず，絶縁材料が使用されますので，その消費量は多いといえます．

表 3.5 に絶縁体各種の特性を示しておきました．

この特性表で注意しなければならないことは，ベークライト，ビニールは他の材料に比べ吸湿し易く，吸湿による特性の変化が大きいことです．

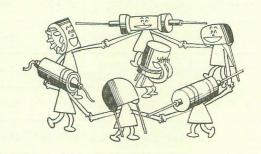
▼表3.5　各種絶縁体の特性

材料名	変形温度 (°C)	比重	固有抵抗 (Ω・cm)	絶縁破壊電圧 (kV/mm)	比熱	熱伝導率 (Cal/cm.sec)
ベークライト	126～171	1.32～1.45	10^9～10^{13}	3～10	0.3～0.4	0.000003～0.00001
ビニール	約60	1.35	10^{12}	12～15	0.3～0.5	0.000004～0.00008
アクリル	70～90	1.16～1.20	10^{14}～10^{16}	17～20	0.35	0.000004～0.000006
エポキシ	71～288	1.1～2.0	10^{12}～10^{17}	15～20	0.25	0.000004～0.000005
ゴム	120～140	1.1～1.9	10^{12}～10^{13}	13～15	—	—
油	—	0.95～0.98	10^{14} 以上	10～20	—	—
ガラス	500～	2.1～8	10^8～10^{18}	5～30	0.16～0.20	0.0020～0.0027
マイカ	500～	2.7～3	10^{14}～10^{15}	50～200	0.21	0.001～0.002
テフロン	120	2.0～2.2	10^{18}	19～23	0.28	0.000006

第3話　§その2

エレクトロニクス部品を構成する導体材料

☞　エレクトロニクス部品において，その基本動作部が，導体材料によって形成されている部品について，その材料を中心に構成を見ることにしましょう.

また，電子部品の働きやシンボルについては，第4話で詳しくお話しすることになります.

2.1　スイッチとコネクター

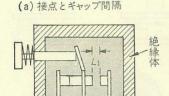
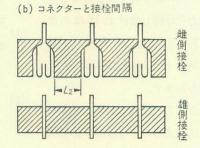
スイッチには，電磁開閉器，リレーなどに付属している接点，あるいは，ナイフスイッチ，スナップスイッチ，押ボタンスイッチ，スライドスイッチ，ロータリースイッチのように，電気信号の開閉を主な目的とする「接点」と，ワイヤーコネクター，プリント基板ソケットのように，電気信号の接続を主な目的とする「接栓」がありますが，これらに共通する事柄について，述べていきましょう.

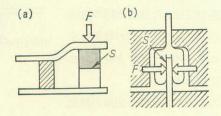
■A　接点耐電圧

スイッチや，コネクターを使用するとき，その電圧の限度は接点間耐電圧と

▼図3.4　スイッチ，コネクターの電圧限界

線間耐電圧によって決まります．

例えば，スイッチの場合は，図 3.4 の(a)のように，接点ギャップ間隔(L_1)，およびその間を保持している絶縁体材料の耐電圧によって決まります．

また，(b)のようなコネクターの場合には，主に，接栓間隔(L_2)によって決まります．

▼図3.5　接触面積および接触圧

さらに，他の要因として考えられることは，接点の形状と接点外雰囲気の耐アーク性があります．

B　接点電流容量

スイッチ，コネクターの接点電流容量は，図 3.5 のように，接点が接触したときの有効接触面積(S)，および接触圧力(F)によって，主に決まります．

以上のA，Bで決められる特性が，その部品に指定されている値を越えて，使用してはなりません．

通常，接点材料として使用されるものには，銅(Cu)，銀(Ag)，金(Au)，パラジウム(Pd)の合金が多いようです．

また，接栓やプリント基板用コネクターのように，接点自身で接触圧力を維持しなければならない材料としては，ベリリウム銅(BeCu)，リン青銅（PBSP）などが使われます．

ところで，接点において重要なことは，大半のスイッチが，確実な接触をさせるために，セルフクリーニング動作を行なわせていることです．

例えば，図3.6のように，a—1の状態で接触した後，矢印の方向にスベリを生じ，a—2の状態で止まるよう，スライドアクションを持っています．

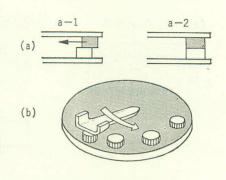
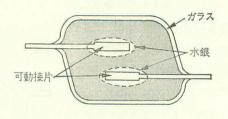
▼図3.6　セルフクリーニングアクション

▼図3.7　水銀リードスイッチ

このようにすれば，表面の酸化被膜は破壊され，接触後の接点間の抵抗（接触抵抗）が小さくなります．

したがって，図3.6の(b)のような，ロータリースイッチにすれば，この動作は容易に行なわれます．

また最近では，図3.7のような，水銀スイッチが各種のスイッチに利用されています．この水銀リードスイッチのガラス管内には，不活性ガスが封入されていて，磁性材料が組み込まれています．

この動作原理は，ガラス管外から磁力を与えると，接点材料が磁力を受けて閉回路になります．なお，この水銀スイッチの特長は，水銀が可動接片の周囲に濡れた状態で付着しており，接点の酸化被膜生長を防ぐと同時に，閉回路時に，導電材である水銀同志の接触付着により，完全な接触ができ，接点の接触振動（チャタリング）がなくなります．

2.2 フューズ

フューズは，負荷回路の異状によって起こる負荷電流の増大を検出し，電源供給を停止する安全器として使用されていますが，この安全器は，装置には必ず装備されています．

図 3.8 は，その構造図を示したものです．この構造の保護外筒にガラスが使われているものは，通常，低電流の20A程度までで，それ以上の場合は，セラミック管状になっています．

ですから，許容電流，および使用される回路の電圧によって，フューズの形状，および保護管材料を選ばなければなりません．

また，フューズエレメントには，鉛，錫およびビスマス合金が使用されていて，規定電流以上の電流が流れると発熱溶断します．

過電流による，フューズの加熱溶断までの時間特性は，図 3.9 のように，普通フューズ，速断フューズ，タイムラグフューズなどに分けられます．

一方，安全器として最近使用されているものに，フューズにかわる図3.10 のような構造のノーフュ

▼図3.8　フューズの構造

▼図3.9　フューズの溶断特性

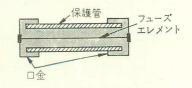
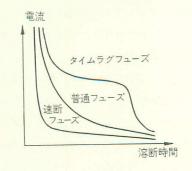
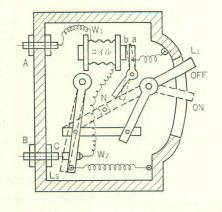
▼図3.10　電磁的ノーフューズスイッチ

ーズスイッチが使用されつつあります．

図3.10は，過電流が流れ込むと，電磁作用によってスイッチを自動的にしゃ断するノーフューズスイッチですが，これと同じような構造で，バイメタルを使用した，熱的ノーフューズスイッチもあります．

2.3　表示灯

表示灯には各種のものがありますが，低電圧電源には，直接タングステンフィラメントを点灯させるパイロットランプ，100V，200V電源には，変圧器を使用するか，直列に抵抗を挿入して点灯させるパイロットランプか，放電を利用したネオンランプが使用されます．いずれのランプにおいても，前面には色ガラス，またはプラスチック記銘パネルを取り付けてあり，点灯時に，所定の動作状態を判別し易いように，工夫されています．

通常，表示灯は，負荷に並列に挿入されていますが，まれには，負荷と直列につないで，負荷電流を確認するために使われることもあります．

また，これらの表示灯は，タングステンフィラメント式にせよ，ネオンランプ式にしても，通常，寿命は，3000～20000時間程度です．

しかし，最近になって，半永久的な半導体発光の表示灯が使用され始めるようになりました．

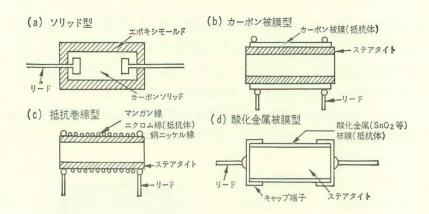
2.4　抵抗体

抵抗体を構造上から分けてみますと，次のページの図3.11の（a），（b），（c），（d）のように，ソリッド型，カーボン被膜型，抵抗巻線型，酸化金属被膜型とがあります．

■A　ソリッド型抵抗

ソリッド型は，規定抵抗値に対して，実際の抵抗値のバラツキが，割に大きいのですが，同じ電力の他の抵抗体に比較すると，形状が小型にできます．

したがって一般の信号増幅回路，論理回路，通信工業用装置に使われます．

▼図3.11　各種抵抗体の断面図

■B　カーボン被膜型抵抗

カーボン被膜抵抗は，ステアタイト表面に，カーボンを焼結した後，規定抵抗とするため，ヘリカルな切溝を入れ抵抗値の修正を行なって作られます．

しかし，一般的用途では，徐々にソリッド型で代替されてきています．

■C　抵抗巻線型抵抗

抵抗巻線型は，規定抵抗値に対するバラツキの小さいものが作り易く，精度の良いものができます．また，巻線であるため，インダクタンスを持たせることができ，この特性を利用するときもあります．

一般には，低い抵抗値で，電力の大きい抵抗器を必要とする整流回路に，また精度のよいことを利用して，電圧分割回路などに使われます．

■D　酸化金属被膜型抵抗

酸化金属被膜型は，無誘導型などと呼ばれるときもあり，高周波電流を流すときにも，純抵抗となりインダクタンス分が多くありません．

また，負荷できる電力に対して，表面の温度上昇にも，かなりの耐力があります．

2.5　コンデンサー

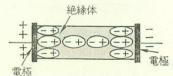
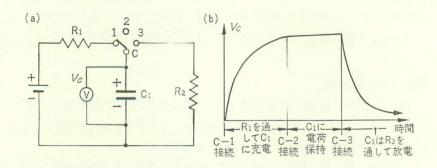
絶縁体を，図3.12のように，電極の中に置き電界を加えると，絶縁体内部では，電子は自由に動きまわれませんが，電界を与える前の位置の近くで，⊕と⊖の分極（誘電分極）が起きます．しかし，電流の流れにはなりません．

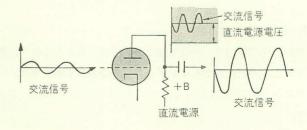
このように，絶縁体はすべて，この**分極作用**を持った誘電体です．

さて，二枚の電極板の間に，この絶縁体（誘電体）をはさんで密着させ，この極板に電荷を帯電させるものが，コンデンサーです．

▼図3.12　コンデンサーの原理

このコンデンサーの用途は，次の2つに大きく分けることができます．

（i）図3.13のように，直流を通じ，コンデンサーの両端で電荷を貯える．

▲図3.13　コンデンサーの両端で電荷を貯える

▶図3.14　交流信号のみを伝達する

（ii）図3.14のように，直流信号に重畳された交流信号から，交流信号だけを伝達する．

いずれの用途においても，印加電圧が最大使用電圧を越えると，いわゆるパンクを起こし，破裂しますので，特に注意してください．

次に，コンデンサーの電極にはアルミニウム箔が多く使用されますが，介在する絶縁体（誘電体）の種類によって，下の表3.6のように分類できます．

▼表3.6　コンデンサーの種類と特性

名　　　称	誘電体材料	使用温度域（°C）	静電容量*（μF）	最大使用電圧（V）
ペーパーコンデンサー	油含浸紙	−55〜85	0.001〜1000	50〜100
プラスチック・フイルム・コンデンサー（アルミ箔使用）	ポリエチレン	−55〜85	0.001〜100	50〜50K
	ポリスチレン	−55〜85	1PF〜10	50〜100
	ポリカーボネート	−55〜125	0.01〜50	50〜100
プラスチック・フイルム・コンデンサー（アルミ箔蒸着使用）	ポリエチレン	−55〜125	0.1〜100	50〜500
	アセチルセルローズ	−55〜85	0.1〜100	50〜500
	ポリカーボネート	−55〜125	0.1〜100	50〜500
マイカコンデンサー	マイカ	−55〜125	0.1〜100	100〜50K
磁器コンデンサー	チタン酸バリウム	−55〜85	100PF〜0.5	50〜5K
電解コンデンサー	酸化アルミニウム	−55〜85	0.1〜500	〜500

＊ 静電容量の単位：コンデンサーの両端に，Q クーロンの電荷を与えて，V ボルトの電位差を生ずるとき，そのコンデンサーの静電容量 C をファラッド（F）とすれば

$$C=\frac{Q}{V}$$

………となります．

1μF（マイクロファラッド）$=1\times10^{-6}$F
1pF（ピコファラッド）$=1\times10^{-12}$F

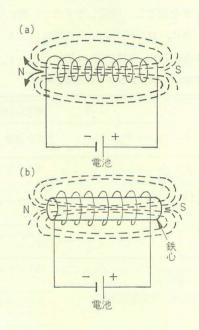
2.6　コイルと変圧器と電磁部品

図3.15の(a)のように，銅線をコイルにして，直流電源を接続しますと，破線で示されているような，N－S極を持つ磁力が発生します．

そこで，直流電源の電圧を，徐々に上げていきますと，コイル内部の磁力は，それにつれて，徐々に強くなっていきます．

しかし，電圧がある値に達したときもうそれ以上，電圧を上げても，磁力は増加しなくなります．

ところが，磁力が増加しなくなったある電圧の値のとき，(b)図のように，コイルの内部に鉄棒を入れて，さらに電圧を上げてやりますと，また磁力が増加し始めます．

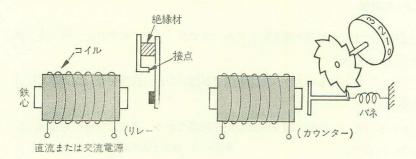
▼図3.15　コイルと磁力

しかし，この場合においても，空気だけのときに磁力が増加しなくなった値より，さらに高い電圧において，また，磁力が増加しなくなります．

(a)，(b)いずれの方法においても，コイルの直流抵抗は一定ですから，電圧の上昇比と電流の上昇比は一定であるはずです．

したがって，(a)，(b)両者に差ができるという現象は，空気と鉄棒の違いつまり，**透磁率**の差によるわけです．

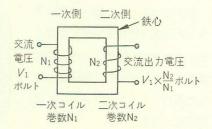
いま，(b)図の鉄棒の両端は，N－Sの磁石に相当しますので，このように透磁率の高い鉄心を利用したコイルによって，次のページ，図3.16のリレーやカウンターなどが作られています．

次に，図3.17のように，鉄心に対し，一次側に交流電源を接続すると，二次

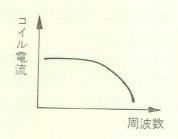
▼図3.16　コイルを利用したリレーとカウンター

側には，一定の電圧を誘起させることができます．

いま，一次側の電圧をV_1ボルトの交流とし，巻線数をN_1，二次側の電圧をV_2とし，巻線数をN_2とすると，次のような関係のもとに，交流電圧が誘起されます．

$$V_2 = V_1 \times \frac{N_2}{N_1} \text{（ボルト）}$$

▼図3.17　変圧器

次に，図3.15の(a)のコイルに，交流電源を接続し，交流の周波数を上げていきますと，一定電圧の，高い周波数の交流（高周波）に対しては，図3.18のように，大きい抵抗を持つようになります．

このように，コイルは変圧器(電圧増幅器)，高周波抵抗（インダクタンスコイル），電磁部品などに使われます．

▼図3.18　コイルの周波数―抵抗特性

2.7　回転機

回転機には，発電機と電動機とがありますが，またそれぞれに，交流用と直流用とがあります．

しかし，エレクトロニクス回路と関連が深いのは，直流発電機および直流電動機です．

というのも，一般的に電子回路が直流回路であり，直流電動機の速度制御がし易いためです．

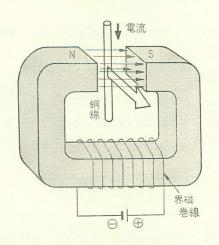
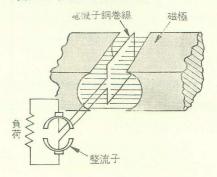
そこで，直流電動機と直流発電機について述べることにします．

図3.19のように，磁界の中に置かれた銅線（電機子巻線）に対して，↓の電流を流すと，⇒方向に動かされる力が生じ，銅線を⇒方向に動かすと，↓とは逆方向に電流が流れます．

この作用を利用して，図3.20のように，電機子銅巻線を回転させ，整流子を通して銅巻線に生ずる電流を取り出し，負荷に与えるものが直流発電機です．

逆に，負荷抵抗の位置に，直流電源を接続すると，回転力が取り出せる直流電動機となります．

▼図3.19　磁力と電流の関係

▼図3.20　直流発電機の原理

第3話　§その3
エレクトロニクス部品を構成する
半導体材料

☞　半導体を材料とするエレクトロニクス部品の大半は，1948年にトランジスタが発明されて以降，急速に開発されたものです．

それ以来，つぎつぎと新しい素子が生まれ，その素子の応用や用途から，また別の素子が開発されるという具合におびただしい種類の半導体素子が作り出されてきました．

現在，実用的に用いられているものは数100種類ありますが，これらすべてについて説明することはあまり意味がありませんので，使用頻度の高い，代表的なものについて見ることにしましょう．

3.1　ダイオード

ダイオードについては，第2話で少しお話ししましたが，ゲルマニウム（Ge）かシリコン（Si）を材料とし，ＰＮ接合とした二端子素子です．

図3.21のＰＮ接合において（a）のように，外部から順方向の電圧を印加するとき，Ｎ側を基準にしたＰ側の印加電圧とＰ→Ｎ方向へ

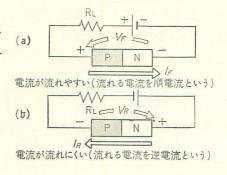
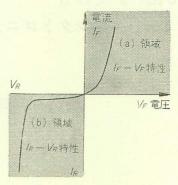
▼図3.21　ダイオードの順・逆方向電圧

流れる電流の特性は，図3.22のようになります．

図3.22の(a)，(b)領域の特性を，それぞれ，順方向特性，逆方向特性といい，素子の両端の電圧，および(a)(b)それぞれの電流を，順電圧(V_F)，逆電圧(V_R)，順電流(I_F)，逆電流(I_R)と呼びます．

この電圧―電流特性によって分類ができますが，代表的なものについて説明していきましょう．

▼図3.22　ダイオードの電圧―電流特性

■A　一般用ダイオード

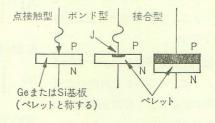
一般用ダイオードは，順電流の最大使用電流が数100mAまでの，主として整流特性を利用するダイオードです．

順方向電流値の使用最大値は，PN接合の断面積の大きさ，および素子が消費する電力（順電流×順電圧）による発熱と，組み立てられている素子の構造から定まる放熱とのつり合いによって定まります．

接合部での素子の温度上昇の限度は，通常，ゲルマニウム(Ge)では75°C，シリコン(Si)では，125°Cを越えない範囲に限定されています．

構造上，図3.23のように，点接触型，ボンド型，接合型などがあります．

点接触型は，GeまたはSiの小片上に，金属線を当てたものですが，普通，金属線は図のように曲げて，バネ圧で接触されています．

▼図3.23　一般用ダイオードの接合構造

点接触型では，金属線がP型に，基板（ペレット）がN型に相当します．

次に，ボンド型は，点接触の金属線部に，アンチモンを使って，順方向に過大な電流を流し，一部（図のJ部）を溶融合金化して，ゲルマニウム（Ge）またはシリコン(Si)のペレット内に，PN接合を作ったものです．

接合型の場合は，ペレットの半分に，P型の合金を作り，電極を引き出したものです．P型合金は，ゲルマニウム(Ge)にインジウム(In)を合金化したり，シリコン(Si)にアルミニウム(Al)を合金化したりしたものです．

普通，これらのペレットは，0.3〜0.4mm角で，厚さは，0.2mm位です．

■B　定電圧ダイオード

定電圧ダイオードも，PN接合ダイオードですが，最近では，接合ではなく拡散によって接合を有するものが多いようです．

PN接合部は，燐(P)などを拡散させたN型のシリコン(Si)に，ほう素(B)などを拡散させて，P型として作ります．

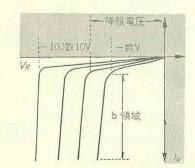
この拡散とは，例えば，空気中にタバコの煙が拡がるように，シリコン(Si)などを高温に加熱して，表面から燐(P)やほう素(B)の原子を浸透させていく方式です．

したがって，シリコン(Si)の表面から深くなるほど，拡散される燐(P)やほう素(B)の濃度は薄くなります．

シリコン(Si)に対する，これら燐(P)およびほう素(B)の濃度を，不純物濃度といいます．

さて，この素子に，図3.24のように電圧（V_R）を加えていきますと，電流(I_R)が，急に増加する電圧があります．

この電圧は図3.24において，降服電圧に相当しますが，b領域におい

▼図3.24　定電圧ダイオードV_R—I_R特性

て，電流の範囲は素子が破壊するに到るまでに，相当広い範囲があります．また，この電流(I_R)のｂ領域においては，電圧（V_R）の変化が極めて少ないため，恒久的に，この V_R—I_R 特性に変化の生じない範囲の電流を利用することによって，定電圧を得ることができます．

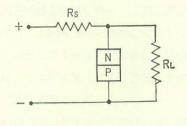
▼図3.25　定電圧ダイオードの回路

これは，第２話で，すでにお話ししました，定電圧放電管と同じ機能を果します．

図3.25 は，定電圧ダイオードを使った回路例ですが，負荷（R_L）に，一定の電圧を供給する定電圧回路を作ることができます．

このダイオードを，別名，**ツエナーダイオード**と呼びます．

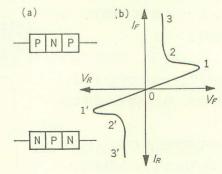
ところで，ツエナーダイオードの降服電圧は，不純物の拡散される深さが深くなるほど，マイナス方向に大きくなりますので，製造するとき拡散の深さを制御し，数Ｖから，百数十Ｖまでの任意の降服電圧を持つ，定電圧ダイオードが作れます．

■C　トリガーダイオード

図3.26（ａ)のように，Ｎ型あるいはＰ型を中心にして，左右対称にＰＮＰまたはＮＰＮ接合を持つ二端子素子が，トリガーダイオードです．構造が対称になっていますので，図3.26（ｂ）のような，原点に対して対称な電圧—電流特性を持ちます．

▼図3.26　トリガーダイオードの接合と特性

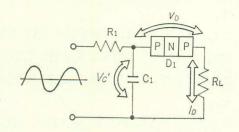
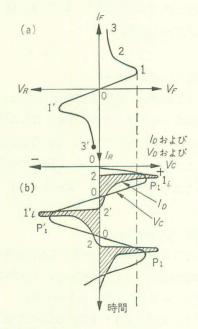
では，図3.26（ｂ)の特性につ

いて考えてみることにしましょう．

いま，$V_F(V_R)$ が増加していきますと，$I_F(I_R)$ は 0→1 (0—1′) の範囲で増加していきますが，1 (1′)の点を越えると，素子の両端の内部で，抵抗が急に小さくなり，電流が急激に 1→2→3 (1′→2′→3′) と増加し，両端の電圧も下ってしまいます．

ここで，1→2 (1′→2′) 間は，あたかも $\Delta I/\Delta V$ 値が，0→1 (0→1′) 間の勾配とは逆に，負の勾配を持つため**負性抵抗**を示すといいます．

次に，図3.27 のような回路に，トリガーダイオード(D_1)を接続し，交流電源を流すとき，D_1の両端の電圧 (V_D) と負荷(R_L) に流れる電流 (I_D) との関係は，図3.28 のようになります．

いま，図3.27 の回路で，D_1を取り去った場合を考え，そこに，図のような正弦波交流を与えたとしますと，C_1の両端には，図3.28 (b) の V_C のような電圧が印加されることになります．

▼図3.27　トリガーダイオードを使用した回路

▼図3.28　電流パルス

そして，その電圧の最大電圧（ピーク電圧）P_1，P_1'が，図3.28(a)の特性曲線の1および1′より高いとしますと，もしそこに，D_1を挿入した場合，図3.28(a)の 0→1 の間では，(b)の 0→2 の微小電流が流れます．

さらに，図3.28 (b)の V_C が図3.28(a)の1を越える電圧になりますと，D_1

を流れる電流(I_D)は，急激に増加して，(b)のように，0→2→1_i と立上がります．

しかし，その後は，コンデンサー(C_1)に充電された電圧が D_1，R_L を通して放電する電流と，電源から R_1を通して流れ込む電流との均合によって，D_1 を流れる電流(I_D)は，斜線部のように，電流パルス（短時間に流れる電流）が生じます．

同様にして，V_C のもう一方の側も，同じ特性の電流パルスを生じます．

したがって，図3.27 の回路図は，交流電源から，負荷 R_Lに，図3.28の(ｂ)のような電流(I_D)パルスを得ることができます．

図3.26の(ｂ)における，3(3′)は，数100mＡが限度で，小型のパルス発生回路に使われます．

■D　フォトダイオード

ＰＮ接合に，逆電圧を印加しますと，接合部近辺に空乏層ができて，電流が流れないことは，すでに説明しましたが，接合部近辺に，光を与えますと，光エネルギーに励起されて，自由電子と正孔との対が発生します．

これによって，ダイオード両端には，光量に応じた電流が流れます．

これを応用したのが，フォトダイオードです．

■E　発光ダイオード

ガリウム燐(GaP)やガリウムひ素燐(GaAsP)，またはガリウムひ素(GaAs)の単結晶からなるＰＮ接合に，順方向に電流を流すと，電流量に応じた発光現象があることを利用したものです．

この発光ダイオードは，各種の表示装置に応用が考えられます．

3.2　整流素子

これも，ＰＮ接合の二端子素子ですが，電力用整流器として用いられ，ダイオードと区別して，電流(I_F)値の大きいものを，整流素子と呼んでいます．

かつては，セレンやゲルマニウムなどが主に用いられていましたが，現在では，ほとんどシリコンが材料として利用されています．

現在，すでに，耐電圧3000Ｖ以上，許容電流500Ａ以上のものが開発されています．

また，普通のシリコン整流素子が，過渡的な，時間の短い，大きい電圧（逆方向サージ電圧）によって，破壊され短絡状態となって，他の電源機器の破損の恐れがあったため，逆方向定格に対して相当な余裕が必要でした．

しかし，シリコン・コントロールド・アバランシェ整流素子が開発されることによって，過渡電圧は素子に吸収され，素子の降服電圧以上になることはなく，素子自体も破壊されなくなりました．

ここで，アバランシェ現象とは，素子に印加される電界が小さいときは，電子が注入される量に等しい個所だけの動きを示しますが，電界を高めるに従い加速される電子の速度が早まり，電子または正孔が，結晶中の電子または正孔に衝突し，１コの電子，あるいは正孔が，多くの〈電子—正孔〉の対を作り出していく，いわゆるなだれ現象が生じます．

これを**アバランシェ現象**と呼びますが，シリコン・コントロールド・アバランシェ整流素子においては，このなだれ現象を防ぐことができます．

つまり，従来の素子が，過渡電圧によって降服現象を起すのは，その電流がＰＮ接合のごく一部に集中するために，局部的な熱破壊に至ることが多かったわけです．

したがって，この表面，および局部的な降服の原因を取り除けば，その母体半導体の比抵抗に相当するアバランシェ降服現象により，定電圧ダイオードと同様な，安定した動作を行なわせることができるわけです．

3.3 サイリスタ

サイリスタは，PNPN接合を持ち，電極は両端と，真中のP層から引き出されている，三端子素子です．

ここで，真中の端子は，三極真空管と同様に，両端の電極間に流れる電流の開閉信号を与えるゲート端子です．

ただし，D項で説明しますＳＳＳ素子については，二端子素子ですが，これは動作がサイリスタに類似するために，ここで述べることにします．

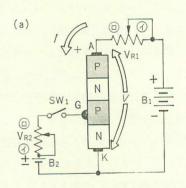
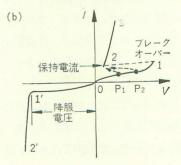
■A　SCR素子（シリコン制御整流素子）

図3.29（a）のように，PNPN 層の陽極(A)，陰極(K)，ゲート(G)端子に，可変抵抗(VR_1)，および直流電源(B_1)，スイッチ(SW_1)，ゲート電流調節用可変抵抗(VR_2)，および直流電源(B_2)を接続したＳＣＲの動作について，お話ししましょう．

この回路において，素子の電流(I)と，陽極―陰極間電圧(V)とのI―V特性は，図3.29の(b)のようになります．

いま，ゲート端子のスイッチ(SW_1)が開いているとき，順方向に対しては，電圧の上昇とともに，順電流が0→1へと，徐々に増加します．

点1に到ると，電流が急激に増加し，一種の負性抵抗を示して，端子電圧は1→2へと降下します．

▼図3.29　SCR（シリコン制御整流素子）

このように，ＳＣＲの順方向特性は，ダイオードに類似した降服電圧を持っています．

この点１を，ブレークオーバ電圧といっています．

一旦，０→１→２となった素子には，順電流が流れ続けますが，可変抵抗(VR_1)の摺動子を㋺→㋑にし，順電流を０に近ずけるか，または，直流電流(B_1)の＋－を逆にし，$V<0$とすれば，停止します．

このようにゲートを開いたままで，順電流を流し，徐々に順電流を少くしていき，順電流が停止する寸前の電流，つまり，順電流が保持される最小の電流のことを，**保持電流**といいます．

次に，保持電流以上が流れるように，可変抵抗(VR_1)を設定しておき，ゲートのスイッチ(SW_1)を閉じ，可変抵抗(VR_2)を㋑→㋺に動かして，ゲート電流を０から増加させていきますと，図3.29（ｂ）の点１のブレークオーバ電圧以下であっても，ゲート電流が規定以上になれば，素子を流れる電流(I)は，図の０～１間の，例えばP_1またはP_2点から点２に移すことができます．

このように，ゲート信号によって，順電流を流すことを，**点弧（ターンオン）**といいます．

さて，このように，一旦点弧した素子は，ゲート信号をスイッチ(SW_1)で切っても，順電流は流れ続けるのは，先ほどの説明でお判りだと思います．

素子により，順電流の範囲は，30ｍＡ程度から，数100Ａ程度まで，各種ありますが，いずれも，ゲート電流は，ｍＡの単位の電流で点弧できます．

■B　GTO素子（ゲート・ターン・オフ素子）

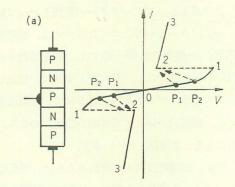
ＳＣＲの順電流は，流れ始めるとゲート信号の制御が不可能になりますが，これを改良したものがGTO素子です．

このGTOは，ゲートの信号が切れると，順電流が切れるように作られた素子で，つまり，ゲートターンオフ（gate turn off）されるわけです．

■C　TRIAC素子（双方向性制御整流素子）

トライアックは，図3.30（a）のように，三端子の双方向性制御整流素子です．

ちょうど，2コのSCRを，逆並列に接続した構造，および特性を持っています．

したがって，SCRと違うところは，図3.30（b）のように，逆極性のゲート信号によっても，導通状態に移ることができるため，ゲート信号を交流電源から取る場合や，交流電力をコントロールするのに，非常に有用であるわけです．

▼図3.30　トライアックとその特性

■D　SSS素子（シリコン・シンメトリカル・スイッチ）

その名の示すとおり，NPNPN接合の5層からなる，二端子の半導体素子ですが，製造メーカによって，バイスイッチ，ダイアック，サイダックなどと呼ばれています．

SCRやトライアックと異なり，ゲート端子がないため，阻止領域から，導通領域へのスイッチングは，素子のブレークオーバ電圧以上のパルス電圧を加えることによって行ないます．

また，ターンオフするには，陽極電流を保持電流以下にします．

これは，SCRのゲート電流を流すスイッチの入切によって，導通したり，ターンオフしたりするのと同じことです．

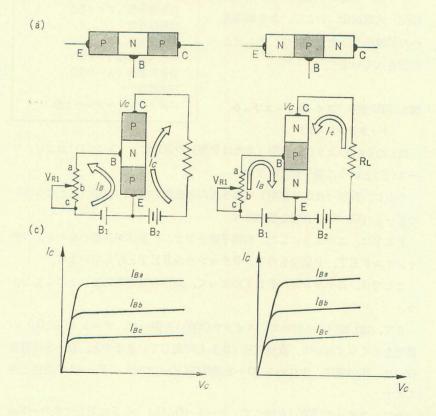
このSSS素子は，交流回路の電力制御として広く使われています．

3.4　トランジスタ

■A　一般用トランジスタ

一般用トランジスタは，ＰＮＰ，またはＮＰＮの３層からなり，三端子を持つ半導体素子です．

すでに，第２話でもお話ししましたが，図3.31（a）のように，エミッタ(E)ベース(B)，コレクタ(C)から成り，また図3.31（b）のような接続を行ないますと，その電圧―電流特性は，図3.31（c）のように現われます．

▼図3.31　トランジスタとその電圧―電流特性

いまや，トランジスタは，その製造技術の進歩にともない，数多くの種類を持っています．

これを，材料の分類から見ると，ゲルマニウムトランジスタと，シリコントランジスタがあり，また用途，製造法および構造によって分類しますと，表3.7，表3.8のようになります．

さらに，製造法の進歩により，高耐圧化，大電流化，および，より高周波への領域へと，その特性は，どんどん改善されています．

▼表3.7　一般トランジスタの用途分類

形式名称	用途
2ＳＡ○○○	ＰＮＰ形高周波用
2ＳＢ○○○	ＰＮＰ形低周波用
2ＳＣ○○○	ＮＰＮ形高周波用
2ＳＤ○○○	ＮＰＮ形低周波用

▼表3.8　構造および製造法による分類

合金接合形（アロイ形）
成長接合形
ドリフト形
ベース拡散形（メサ形）
合金拡散形（Ａ—Ｄ形）
三重拡散形
エピタキシャルプレーナ形

■B　FET素子（フイールド・エフェクト・トランジスタ）

図3.32（ａ）のように，Ｎ型（またはＰ型）の両端に，ドレン(Ｄ)および，ソース(Ｓ)という二端子を設けます．

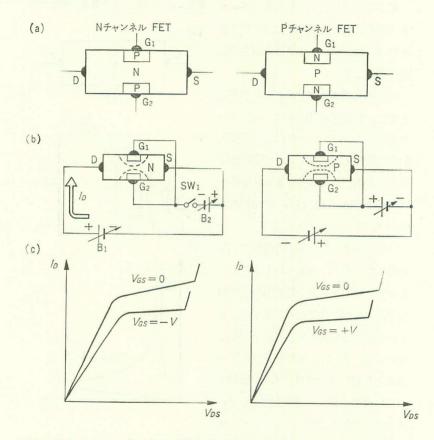
さらに，Ｎ型（またはＰ型）のＤＳ方向と直角方向に，Ｐ型（またはＮ型）のゲート（G_1，G_2）接合を設けます．

ＦＥＴは，このようにした，四端子素子ですが，基体がＮ型のものを，ＮチャンネルＦＥＴ，Ｐ型のものを，ＰチャンネルＦＥＴと呼んでいます．

ここでは，ＮチャンネルＦＥＴによって，動作の基本を見ることにしましょう．

さて，図3.32(ｂ)において，スイッチ(SW_1)を開いて，ゲート（G_1，G_2）の影響をなくしておいて，直流電圧（B_1）を可変していきますと，Ｄ—Ｓ間電流(I_D)は，B_1の電圧，すなわち，Ｄ—Ｓ間電圧(V_{DS})に対し，$V_{GS}=0$ の特性を持ちます．

次に，スイッチ(SW_1)を閉じて，ゲート（G_1, G_2）へ，Ｓに対して負の$-V_{GS}$

▼図3.32　Nチャンネル FET およびPチャンネル FET とその特性

の電圧を印加すると，G_1，G_2のＰ型のゲートは，破線のように，Ｄ→Ｓに流れる電流(I_D)の路をせばめるような電界がチャンネルの中に作られます．

このようにして，ゲート（G_1, G_2）の電位によって，Ｄ－Ｓ間の電流(I_D)の制御ができるわけです．

つまり，電流(I_D)の電流路に対し，電界を与えるだけで，I_Dを制御できるので，**電界効果トランジスタ（ＦＥＴ）**と呼ばれます．

■C UJT素子（ユニ・ジャンクション・トランジスタ）

ＵＪＴは，シリコンの細長いペレット（基体）の中央部付近に，ＰＮ接合を持つ，図3.33（a）のような構造の三端子素子です．

図3.33(b)において，スイッチ(SW_1)を閉じ，直流電源(B_2)によって，V_{BB}の電圧を与え，エミッタ(E)に電圧可変直流電源(B_1)からV_Eの電圧を印加するとき，エミッタ（E）からベース(b_2)に流れる電流(I_E)の特性は，図3.33（c）のようになります．

いま，スイッチ(SW_1)を開けて，V_Eを増していくと，ひとつのＰＮ接合によって，ダイオードの順方向特性に似た$V_{BB}=0$の特性が得られますが，スイッチ(SW_1)を閉じて，V_{BB}を増加していくと，V_Eが，エミッタの点での電位より低いときには，I_Eの電流は少ないのですが，これを越すと，I_Eが急激に増加し，前のトリガーダイオードの特性に似た，0→1→2→3 の特性曲線を示します．

▼図3.33 UJT とその電圧―電流特性

(a)

(b)

(c)

このように，ＵＪＴは，安定した負性抵抗特性を持つスイッチ用半導体素子ですが，サイリスタの点弧回路，発振回路などに，広範囲な用途を持っています．

■D　フォトトランジスタ

フォトトランジスタは，ＰＮＰの３層からなり，動作原理は，フォトダイオードと同じですが，電流増幅作用を持っています．

つまり，光によって，ＰＮ接合部で発生した電子―正孔による電流をベース電流と考えるとき，トランジスタの特性と同じことになります．

3.5　半導体集積回路（IC）

いわゆるＩＣには，薄膜ＩＣと，半導体ＩＣと，両者を組み合せたハイブリッドＩＣがありますが，これらの集積回路の特長は，超小型化による信頼性，経済性，性能の向上などにあると思われます．

半導体集積回路の種類は，その製造法の進歩にともなって増えてきましたが集積される回路量によって，SSI (Small Scale IC)，MSI(Middle Scale IC)，LSI (Large Scale IC) とに区別されます．

また，用途によって大きく分けますと，リニアＩＣとディジタルＩＣがありますが，その回路の種類は数えきれないほどあり，今後も，どんどん増えていくものと思われます．

3.6　その他

半導体開発は，たえまなく続いていますが，特に，大電流化（整流素子のように，より大電流を取り扱う方向の開発)，高耐圧化(例えば，ダイオード特性のように，降服電圧を越えて使えないため，この降服電圧を高くしていく方向)，高周波化（固体内の電子，正孔の動きの速度から，信号の応答速度をより早め，より高周波の範囲で動作する半導体の開発）とともに，新しい変換素子（半導体トランスデューサー――圧力，温度などの物理現象を半導体素子を使って電気信号に置換する素子）の開発が進められています．

■A　半導体放射線検出器

これは，素子が小型堅牢で，特別な高圧直流電源が不要なため，応用範囲が

急激に拡がっています.

■B　ホール素子

これは，半導体に電流と磁界を加えると，その積に比例した起電力を発生するという，ホール効果を利用したものです.

ガウスメーター，乗算演算機などに実用化されています.

■C　半導体ストレインゲージ

これは，ひづみによる導電率変化を利用するもので，感度は大きいのですが温度特性があまり良くないという欠点を持っています.

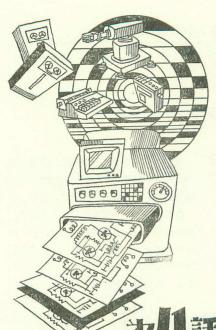
■D　マグネットダイオード

これは，半導体中の電子と正孔が，磁界によって，同じ方向に引きよせられることを利用して整流作用を行なうものですが，無接点スイッチなどに応用されています.

■E　バリスタ

これは，電圧の変化に応じて，その抵抗値が，非直線的に変化するもので，リレー接点の火花消去用，異常電圧保護用として使用されています.

■F　半導体レーザー

これについては，現在，ガリウムひ素（GaAs）のＰＮ接合ダイオードなどにより，研究されています.

ELECTRO-NICS

疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス・1

《実用基礎編》

第4話　エレクトロニクスの電子部品のシンボルと働き

機械装置に設計図面があるように，エレクトロニクスについても，いろいろな記号，シンボルがあります．

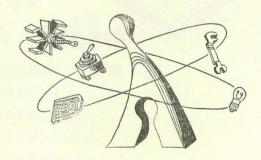
ここで注意しなければならないことは，機械図面においては，象形図面（形で示されている図面）が多いのに比べ，エレクトロニクスにおいては，機能図面（部品の機能を示すシンボルで構成された図面）が多いということです．しかし，機械図面の中にも機能図面は時々あります．例えば，配管系統図などがよい例といえます．

ところで，第4話でお話しする電子部品の機能シンボルは，それをさまざまな形で結ばれることによって，立派に能力を発揮する完成された装置の図面となります．

そのさまざまな結び方の本題は，≪疑問にこたえる機械のエレクトロニクス・2(応用実際編)≫にゆずるとして，ここでは，前段階として，個々の部品の機能，特性，外形，シンボルについてお話しします．

第4話　§その1
電装材料のシンボルと働き

☞ 電装材料と呼ばれるものは，装置の持つ機能を十分働かせるための補助的な役割を果すものと考えてよいでしょう．

ここでは，その代表的なものとして，筐体，シャーシ，電線，端子台，ワイヤーコネクター，放熱板，プリント板およびプリント板コネクターについて，そのシンボルと働きをお話しします．

1.1　筐体（シャーシ）

電子回路部品が取り付けられ，電極や端子間が電線によって配線された状態でシャーシに組まれますが，さらに，外部雰囲気と隔離するため，あるいは，外部からの感電を防ぐために，シャーシは筐体に納められます．

普通，装置の専用機として設計される筐体は，その操作性，形状から独自の構造を持つのですが，JIS では，標準筐体として，シャーシと合致する形状のものを標準化しています．

筐体の枠は，鉄の標準アングル材とか，アルミニウムの押出成形材などでできていますが，これは，溶接，またはネジによって枠組され，外面に平板がネジ止めされています．

また，シャーシは，鉄板（通常t 0.8～t 2.3材を亜鉛メッキしたもの），あるいは，アルミニウム板で作られています．

ところで，これらの筐体，シャーシは，次のような点に考慮されていなければなりません．

（i）操作がし易いこと．

（ii）保守，点検，運搬，修理が容易なこと．

（iii）部品の昇温に対し，通風が容易なこと．

（iv）外部の環境に適する遮弊がなされていること．

（v）使用される環境に適する塗装がなされていること．

（vi）回路構成によって分かれる部分に，ブロック化してあること．

▼図4.1　筐体の表わし方

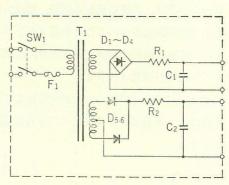
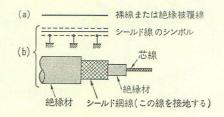
さて，筐体は，回路図などに示されるようなシンボルを持ってはいないのですが，高圧部，高周波部遮弊をしたシールドボックスなどと同じように，回路ブロックと考えて，図 4.1 のように示すときがあります．

あるいは，破線で示されている部分を，細線で示しても同じことです．

1.2　電線（配線）

部品と部品を結ぶ電線は，電線に流れる電流値，および電線相互に供給される電圧値の最大値を見込んで，電流容量と耐電圧値から選択されます．

電線のシンボルは，図 4.2（a）のように，線で示されますが，線材（芯線）の外周にこの線材（芯線）

▼図4.2　電線とシンボル

と絶縁された網線をかぶせたシールド線は，図 4.2（b）のように示します．

シールド線は，芯線に流れる電圧，電流が微小であるとき，その微小信号に外部から誘導障害が加わることを防ぐことができます．

また，芯線に高周波電流を通すとき，外部に障害電波を発しないように，シールド外皮線が接地されます．

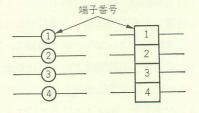
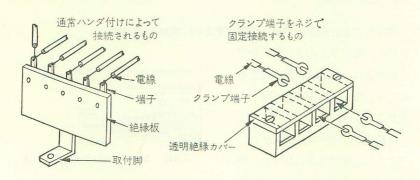
図 4.2（b）では，接地のシンボルも示しておきました．

電線には，単線ばかりではなく，さらに単線をよって芯線とした，より線もあります．

1.3　端子台

筐体またはシャーシと，外部配線，回路の調整点検を必要とする個所，あるいは，電線と電線の接続に使用される端子台は，図 4.4 のような種類があります．

また，通常 シンボルは，図 4.3 のように示します．

▼図4.3　端子台のシンボル

▼図4.4　端子台の外観と種類

1.4　ワイヤーコネクター

ワイヤーコネクターを使用することにより，数多くの電線の接続を，短時間ですませることができます．

また，接続に際して，接続線の入れ違いも防ぐことができますし，耐環境用のものとして，防爆型，防水型などもあります．

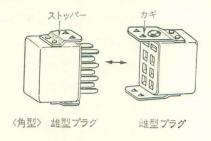
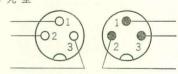
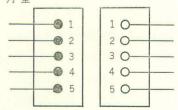
これらのコネクターを使用する際には，電流容量と耐電圧とに注意しなければなりませんが，現在各種のコネクターが生産されていて，耐圧500V，電流数10Aまで，配線本数（PIN数）200本位までなら，入手し易いようです．

ワイヤー コネクターは，図 4.5 に示しますように，雄型と雌型とがあり，通常，電気の供給側を雌型，電気の受給側を雄型としていますが，これは取り扱い上の安全のためです．

また，用途によって数多くの種類が生産されていますが，外形上から分類しますと，角型，丸型の二種類に分けることができます．

これらのコネクターは，図 4.6 のようなシンボルで示します．

▼図4.5　角型ワイヤーコネクター

▼図4.6　ワイヤーコネクターのシンボル

(a) 丸 型

(b) 角 型

端子番号を付記する
雄側を●指示するときがある

1.5 放熱板

回路素子が高電力化するに従って，素子の消費する電力の多くは，熱として発生しますが，多くの回路素子には，使用できる最高許容温度が規定されているため，素子内部で発生する熱を空気中に放熱する必要があります．

万一，素子の発熱部から放熱部までの熱伝導の路に，伝熱の抵抗の大きい個所があったり，また，放熱面においても，気中への放熱が不十分であれば，素子は自己発熱によって最高許容温度以上になり破壊することになります．

このため，古くは，送信管などの素子のように，放熱器が組み込まれたものもあったのですが，半導体には，素子自体に放熱が考慮されていても，素子自体に放熱器が備え付けてあるものは少ないようです．

したがって，設計者が，その素子の使用条件（使用回路での電流電圧によって決まる素子の消費電力）によって放熱板が適切に選択されていますので，保守，点検のとき，回路自身の機能には関与しないとはいえ，安易に取り外したりしてはいけません．

▼図4.7　放熱器の一例（整流素子用）

▼図4.8　放熱器の使用図と温度勾配

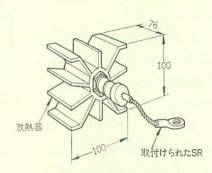
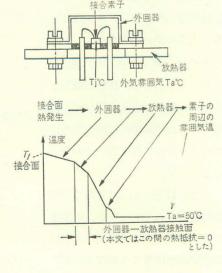



図 4.7 は，放熱器の一例ですが，この放熱器は整流素子用(ＳＲ用)のものです．

また図4.8 は，放熱器を取り付けた伝熱経路と温度勾配を示したものです．

さて，ここで接合面の温度は，素子の保証された温度（T_j）以下に保たねばなりません．

通常，半導体素子の $T_{j\max}$ は110°C～150°Cです．

いま，接合部を130°Cに保とうとするとき，電力消費（損失）P＝20Wとし外気温度 T_a＝50°C へ放熱する場合，放熱器はどのくらいのものを必要とするかを計算してみましょう．

放熱器の熱抵抗〔$R_{th}(s-a)$°C/W〕＋素子の接合部から外囲器表面までの熱抵抗〔R_{th-s}°C/W〕

$$=\frac{T_j-T_a}{P}=\frac{130[°C]-50[°C]}{20[W]}=4°C/W$$

さて，この R_{th-s} は各素子の規格に表示されていて，例えば，東芝　整流素子　12ＬＦ11では，

$R_{th-s}=2°C/W$　　であるため，$R_{th}(s-a)=2°C/W$

の放熱器を使用します．

また，放熱器は，外気の風速に対する熱抵抗 $R_{th}(s-a)$ の固有値を持っていますから，必要により，冷却用ファンを取り付ける場合が生じます．

1.6 プリント板およびプリント板コネクター

回路の縮小化にともない，フェノール樹脂，またはガラス繊維入エポキシ板（t 1.6）に，銅箔をはりつけて回路を形成するプリント板が，さかんに使われています．

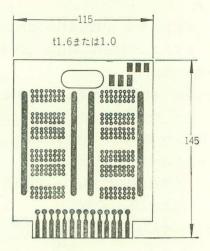
このプリント板の専用回路の作成には，回路パターン設計，写真焼付け，エッチングなどによって，独自の形状寸法のものが安価に作られていますが，万能型として，図 4.9 のような，プリント板があります．

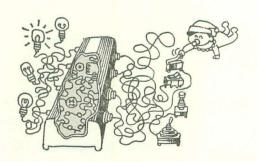
これは半導体素子の端子配列と等しい銅箔部を有するもので，回路作成には

電線をハンダ付けします.

したがって，部品間の配線はプリント板の両面を利用して，回路の合理的作成ができるわけです.

また，プリント板のコネクターとしては，片面に接片を有するものと，両面に接片を有するものとがありますが，端子数は，10,14,18,22,28（両面の場合は，その2倍）が，通常使われています.

▼図4.9　万能型プリント板

第4話　§その2
機構部品のシンボルと働き

☞ 回路要素としての部品（フューズ，スイッチ，ディジスイッチ，ノーフューズスイッチ，表示灯，カウンター，メーター，タイマー，リレー，チョッパー，モータ，リードスイッチ，リードリレー）についての機能，種類，一般に使われる回路シンボル，符号についてお話しします．

2.1　フューズ

フューズは，部品の劣化，負荷の取り扱いの誤りなどによって，回路に過電流が流れるとき，回路部品を破壊させないように，主として電源回路部と，半導体素子の保護として使われます．

さて，このフューズの過電流の定格電流に対する比率と，溶断時間との特性を，図4.10に示しました．

この図から例えば，1A定格のフューズに，過電流150%，つまり1.5Aの電流が流れたとしますと，普通フューズでは溶断しませんが，速断フューズでは0.03秒で溶断することが判ります．

これらの，普通フューズ，速断フューズ，タイムラグフューズの形状は，

▼図4.10　各型式による過電流溶断特性

▼図4.11　フューズのシンボル

▼図4.12　フューズの外形

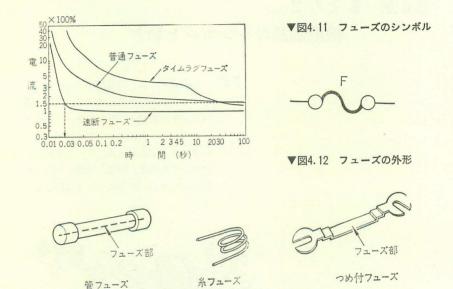



図4.12のように（ガラス）管フューズ，糸フューズ，つめ付フューズなどがありますが，いずれも，図4.11のようなシンボルで示します．

また，フューズ両端の接続配線は，他の部品の場合と同様に実線で示し，符号はFが使われます．

2.2　スイッチ

スイッチは，電流の断続，および電流の回路の切換えに使用されます．

▼4.13　トグルスイッチ

中立点
レバー
接点端子

■A　トグルスイッチ

トグルスイッチは，図4.13のように，レバーによって切換えるとき，内部の接点がバネによってジャンプして切換わります．

▼図4.14　トグルスイッチのシンボル

回路数 / 接点数	単　極	二　極	三　極
単　投	SW	SW	SW
双　投	SW	SW	SW
中立点付双　投	SW	SW	SW

▼図4.15　接点端子符号

切換えの回路数（極）と接点数によって，単極，二極，三極と，単投，双投との組み合せがありますが，中立点で停止するものとしないものとがあります．

さて，図4.14は，トグルスイッチのシンボルを示したものですが，スイッチの符号は，SWを使います．

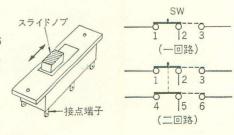
また，開閉できる定格電流は，5，10，15，20，30，40，50，60A が一般に使われています．

接点端子は通常，連番号，またはアルファベット順で，図4.15のように示されます．

■B　スライドスイッチ

スライドスイッチは，図4.16のような外形で，ノブが矢印方向にスライドします．

スライドスイッチの機能はスナップスイッチの機能と同じで

▼図4.16　スライドスイッチ　▼図4.17　シンボル

すが，シンボルは異なり，図4.17のように示す場合があります．

■C　ロータリースイッチ

ロータリースイッチは，以上に述べたスイッチより，さらに多くの回路の切換え，または接点の切換えを有するもので，図4.18のように，スイッチがウェハー状になって，ウェハーを同軸上に重ねるものと，単体の中に回路数，接点数の固定されたものとがあります．

▼図4.18　ロータリースイッチ

しかし，いずれもシンボルは，図4.19のように示され，接点には順連番をうちます．

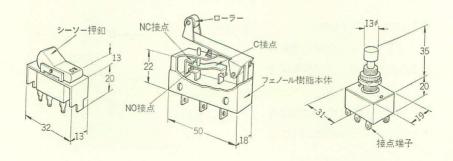
また電流は，ウェハー状のもので，3A程度，単体のもので30A程度までと考えられます．

▼図4.19　ロータリースイッチのシンボル

■D　その他のスイッチ

その他，形状によって，図4.20のように，シーソースイッチ，マイクロスイッチ，押ボタンスイッチなどがあります．

さて，以上のスイッチには，レバーの動作によって，操作した位置で安定してしまう型（操作位

▼図4.20　シーソースイッチ，マイクロスイッチ，押ボタンスイッチ

置安定型）と，レバーをはなすと元のレバーの位置にもどってしまう型（単一位置安定型）とがあります．

これを区別して，図4.21のようなシンボルで表わします．

すでに述べた各種のスイッチについても，操作位置安定型と，単一位置安定型とが，同様にあります．

▼図4.21　レバー動作によるシンボル

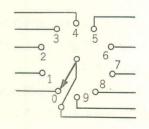
2　1　3　操作位置安定型

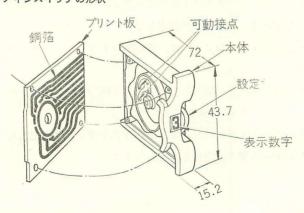
NO　NC　単一位置安定型

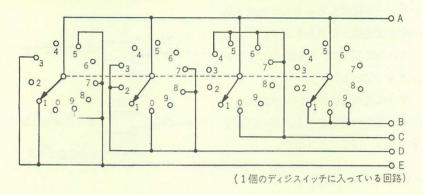
黒丸（接点が安定する側）

2.3　ディジスイッチ

図4.23の形状を持つディジスイッチは，設定歯車をまわすと，可動接点が本体と合せられたプリント板の銅のパターン面を摺動し，内側の共通端子（コモン）と外周の設定歯車の番号に対応する接点端子とがつながります．

したがって，回路切換え方式は，ロータリースイッチと同じですが，ロータリースイッチと比較しますと，次の利点を持っています．

▼図4.22　ディジスイッチのシンボル

▼図4.23　ディジスイッチの形状

▼図4.24　4回路を組込んだディジスイッチのシンボル

（1個のディジスイッチに入っている回路）

（i）取り付けスペースが小さい．

（ii）横に積み重ね，桁数の多い数値の表示と各桁ごとの回路の切換えができる．

（iii）プリント板の銅接片のパターン（回路の組み方）を接続される回路に合せて，任意に作ることができる．

（iv）寿命が長い．

以上のような利点を持つわけですが，一方で，プリント板の接触であるため，ロータリースイッチより電流容量が小さくなります．

したがって，トランジスタやＩＣを使った論理回路とか，各種の部品の特性測定器の良否を判定する限界値の設定などに使用されます．

このディジスイッチのシンボルは，図4.22のように，ロータリースイッチの記法と同じです．

また，プリント回路を小型にして，プリント板の上に，４回路組み込んだものもあり，そのシンボルを図4.24に示します．

この回路を持つディジスイッチは，ＩＣなどを使って組み立てられる，プリセットカウンターの数字設定などに使われます．

2.4　ノーフューズスイッチ

▼図4.25　ノーフューズスイッチのシンボル

ノーフューズスイッチは，定格電流100mＡから，数100Ａまでありますが，低電流定格には電磁動作型が，高電流定格にはバイメタル型が多く使用されています．

その構造は，第３話，図3.10に示してありますので省きますがそのシンボルは，一般に図4.25のように示します．

この２種類のノーフューズスイッチにおいて，電磁動作型は，定格電流に対する過電流によって，瞬時に動作しますが，バイメタル型は，普通フューズの特性グラフと同じように，速断性は劣ります．

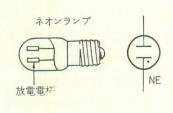
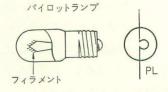
2.5　表示灯

▼図4.26　表示灯外形とシンボル

表示灯の発光球は，ネオンランプとパイロットランプ（白熱電球）が主で，数多いランプホルダーと組み合せられています．

その外形とシンボルを，図4.26に示します．

ネオン ランプは，ＡＣ（交流）100Ｖ，200Ｖ用にシリーズ抵抗とともに使用され，パイロットランプは，1.5Ｖ，2.5Ｖ，5Ｖ，6.3Ｖ，8Ｖ，12Ｖ，18Ｖ…… 100Ｖ，200Ｖ用と，ＡＣ(交流)，ＤＣ(直流)ともに使われます．

100Ｖ，200ＶのＡＣ用には，変圧トランスを使用したり，直列抵抗を一体に組み込

み，定格電圧の低いパイロットランプを使用するものです．

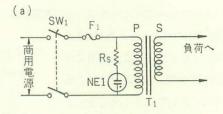
ネオンランプは，商用電源に直接，図4.27（a）のように接続できますが，輝度が低く，見にくいという欠点があります．

一方，パイロットランプは，明るく見易いのですが，図4.27（b）のように，トランスなどで，ランプ定格に適合する電圧を作ってやらねばなりません．

この他の表示灯としては，図4.28（a）のように，数字表示のできるものがありますが，これは，背面の端子盤から，各番号に相当するパイロットランプが接続され，信号に対応するランプが点灯されると，番号スリット，レンズを介して，表面に文字，数字が投影される仕組みになっています．

また，最近，制御盤の操作器，表示器のスペースの縮小化や作業の安全の確認が容易にできるように，押ボタンスイッチノブが，透光性プラスチック材でできていて，その内部にランプを設けた図4.28（b）のような，表示付押ボタンスイッチもあります．

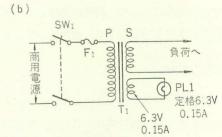
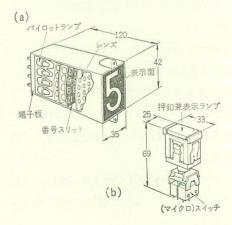
▼図4.27　ネオンランプ，パイロットランプの接続法

（a）

Rs＝100kΩ：電源電圧100Vのとき
Rs＝200kΩ：電源電圧200Vのとき

（b）

▼図4.28　その他の表示灯

（a）

（b）

ランプ端子およびスイッチのNC，NO，C端子が下部から独立して引出されていますので，スイッチは制御用に，ランプは表示用に，独立して利用することができます．

また，2つのランプが内蔵できるものもあり，相互のランプの点灯にも，遮光シールドが内蔵されていて，点灯表示が上下，または左右に分割して表示される表示付押ボタンスイッチもあります．

2.6　電磁パルスカウンター

電磁パルスカウンター内部のソレノイドコイルに電気パルス信号を印加すると，ソレノイドが計数表示円板の軸に取り付けられたラチェットの爪を吸引し，計数表示円板を一定角度（通常計数表示は0～9の10等分されているので36°)だけ回転させ，数字を表示します．

電磁パルスカウンターは，その機能から，次の3つに別けられます．

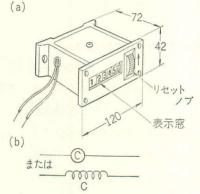
▼図4.29　電磁パルスカウンターとシンボル

■A　電磁パルスカウンター

図4.29（a）は電磁パルスカウンターの外観図ですが，そのシンボルは(b)のように示されます．

これは，内部にソレノイドコイルCだけを持ち，数字表示します．

数字を0に復帰するときは，右側のゼロ復帰レバーを→方向に回転させますが0復帰が押ボタン式のものもあります．

■B　ロータリースイッチ付電磁パルスカウンター

図4.30 は，ロータリースイッチ付電磁パルスカウンターとそのシンボルです．

数字を表示する機構は，電磁パルスカウンターと同じですが，数字を表示する回転円板に，ディジスイッチの可動接点とプリント板が取り付けられています．

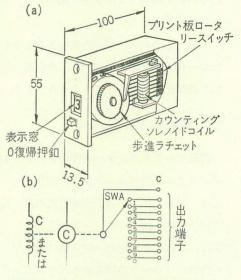
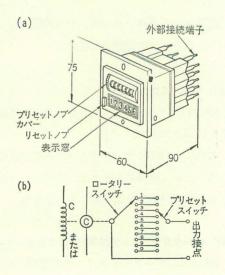
ですから，図4.30(b)のSWは接点が1パルス印加されるごとに，0→1→2……9→0→と摺動されますので，出力端子には表示数字と同じ端子番号の個所と共通接点Cとの間が閉じられます．

▼図4.30　ロータリースイッチ付電磁カウンターとシンボル

■C　プリセット電磁パルスカウンター

プリセット電磁パルスカウンターは，ロータリー型の摺動接点から，さらにカウンター表面のプリセットスイッチによって，出力端子へ計数接点の任意の数字個所へ閉回路を取り出せる機構を持っています．

このカウンターは，図4.31(a)の外形を持ち，(b)図のようなシンボルで示します．

カウンターの表面には，上下に二列の数字表示があり，上側はカバーで覆われていますが，このカバーを開けて数字をプリセットす

▼図4.31　プリセット電磁パルスカウンターとシンボル

ると，外部からの電磁パルスによって，下側の数字表示が１つずつ歩進して，プリセット数値に達すると，背面の出力接点回路がつながります．

さて，これらのカウンター，例えば電磁パルスカウンターの場合には，機械に光検出器や近接スイッチなどを取り付け，コンベアー上に流れる部品の計数を表示したりします．

また，ロータリースイッチ付電磁パルスカウンターの場合は，計数すると同時に，図4.30（b）のC↔O端子を使用して，スイッチが一巡する10コ目ごとに，外部回路で制御を行ない，10コずつ分類したりします．

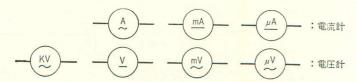
さらに，プリセット電磁パルスカウンターを使用すれば，コンベアー上の部品をプリセットした数，たとえば1000コ通過したとき信号を出して，コンベアーを停止させる回路を作ることができます．

カウンターの特性は，カウントパルス電源電圧が（AC，DC）6V，12V，24V，48V，（AC）100V，200Vとがありますが，パルス電圧で駆動することを基本としているため，コイルに長時間電圧を印加することは好ましくありません．

普通計数速度は，40〜50カウント/秒 程度で，高速のものは，100〜200カウント/秒 のものもあります．

2.7　メーター

回路に使用されるメーターは，その指示数値が電流，電圧を示さない，たとえば温度指示，回転数指示，pH 指示であっても，指示計は，その使用される回路においては，電圧計か電流計かのどちらかであり，指示を表示対象数値に

▼図4.32　メーターのシンボル

較正しスケールを目盛ります．

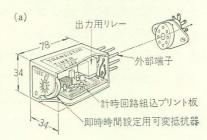
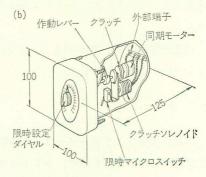
したがって，回路においては，図4.32のように，電流計か電圧計かを示し，符号の下に直流用では一，交流用では～を記す場合もありますが，直流，交流の差は，回路図から判別できますので省略することが多いようです．

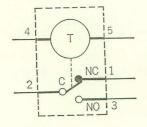
2.8　タイマー

ここで述べるタイマーは，モータータイマーとかトランジスタタイマーと呼ばれている簡単に取り付けができるもののことを指しますが，標準時間間隔で発振しパルスを計数する精度の高い電装品については，別の項で述べることになります．

図4.33は，モータータイマーとトランジスタタイマーの外形を示したものです．また，図4.34はタイマーのシンボルですが，いま，図4.34と図4.35によって，タイマーの動作を説明することにしましょう．

タイマーは，限時する時間を設定しておき，外部から計時時間開始の信号

▼図4.33　タイマーの外形

▼図4.34　タイマーのシンボル

▼図4.35　タイマーの動作

として，定格の電圧または接点の開閉信号を与えますが，これは，図4.34 のTの両端に，図4.35 の(a)の信号を与えることになります．

そして，限時時間内を通じてその信号を与え続けると，設定された限時時間後（図4.35のｔ時間後）に，タイマーの接点が図4.35 の(b)のように動作します．

この計時の方法として，同期モーターにより時計の針を動作させ，針がマイクロスイッチを押す方式のモータータイマーと，外部からの信号により一定電流でコンデンサーに充電し，コンデンサー電圧が一定値に達したとき，ユニジャンクショントランジスタ（UJT）などを点弧させる方式のトランジスタタイマーとがあります．

▼表4.1　駆動電源の種類

駆動電圧	24 V	48 V	100 V	200 V
モーター タイマー			AC	AC
トランジス タタイマー	DC	DC	DC AC	AC

▼表4.2　限時設定時間別の機種

モーター タイマー	10秒，30，1分，3，6，15，30 1時間3，6，12，24
トランジス タタイマー	1秒，3，6，15，30，60

このタイマーを駆動できる電源の種類を，表 4.1 に限時設定時間別機種を表 4.2 に示してありますが，トランジスタタイマーは，短時間設定の限時に精度がよく，レンジの±2％以内の誤差で働きます．

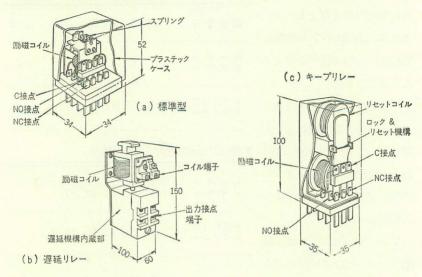
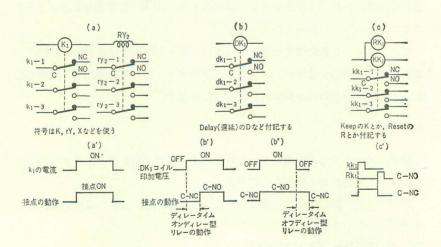
2.9　リレー

接点に流しうる電流容量についての分類は，すでに第2話で述べましたのでここでは，機能による分類をしてみましょう．

次のページの図4.36 は，各種リレーの外観図ですが，これらについて，その機能をお話しします．

■A　標準型リレー〔図4.37(a)，(a′)〕

リレーのコイルに通電されている電流に対応して接点が働きます．

▼図4.36　各種リレーの外形図

▼図4.37　各種リレーのシンボルと動作

■B　**遅延リレー**〔図4.37(b)(b′)(b″)〕

リレーコイルに通電してから接点が働くまで，時間遅れのある**オンディレー**型（通電断のときは，接点は同時にもどる）と，コイルの通電を断してから，接針の動作がもどるまでに，時間遅れのある**オフディレー**型（通電のときは，接点は同時に入る）とがあります．

いずれの型も遅れ時間（ディレータイム）は半固定です．

■C　**キープリレー**〔図4.37(c)(c′)〕

図4.37(c)のように，コイルを2コ持ち，一方のコイル(KK_1)に通電すると，接点(KK_{1-1}, KK_{1-2}, KK_{1-3})が動作しますが，この接点レバーは，他方のリレー(RK_1)の可動片でブロックされるため，先のコイル(KK_1)の通電を切っても，接点は自己保持され，復帰しません．他方のリレー(RK_1)に通電するとロックが外れ，接点はもどります．その動作を，図4.37(c′)に示してあります．

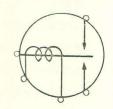
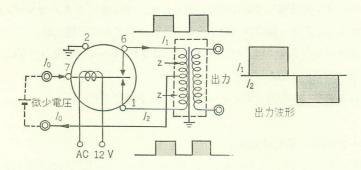
これらのリレーの定格電圧は，(AC，DC) 6V，12V，24V，48V，100V，(AC)200V，接点容量は，(AC)200V，5A程度です．

なお，符号につけたリレー番号を，接点符号の添番号とすると，回路解読に便利です．

2.10　チョッパー

チョッパーのシンボルを図4.38に示しますが，チョッパーは，直流信号を交流に変換するもので，交流化して電圧増幅する回路（交流増幅回路）が直流増幅回路よりも，増幅度の変動が少なくてすみます．

▼図4.38　**チョッパーのシンボル**

入力信号が一定であるとき，増幅度の変動によって生じる増幅された出力信号の長時間にわたる変動を**ドリフト**といいますが，このドリフ

▼図4.39　チョッパーを使った直流──→交流回路

トが少なく，特にmV単位の微小直流電圧を増幅するにはたいていチョッパーを使用したチョッパー増幅回路（交流増幅回路）が多く使われます．

チョッパーの内部には，振動接点と励振コイルを持ち，商用周波で振動させるため，図4.39のように，入力端子（7）より直流信号を与えると，出力端子（1），（6）には，図のような矩形波が得られます．

これをトランスの一次側に供給すると，二次側には矩形波の交流が電圧増幅されて得られます．

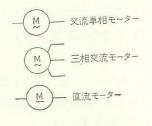
一般には，このトランス出力信号を交流増幅回路への入力信号とします．

コイル電圧は，12V，50/60Hz，接点電流500mA程度です．

2.11　モーター

単相または三相交流電源を接続し，単なる回転力だけを利用しているときには，図4.40のようなシンボルで示されます．

また，直流モーターについても，そのモーターが直巻，分巻のいずれでも，界磁巻線と電機子への電流を独立に与え，回転数を制御したり，トルクの制御をしたりする場合を除けば，同じシンボルで示すことができます．

▼図4.40　モーターのシンボル

もし，界磁巻線と電機子を独立して電源に接続される分巻電動機の場合には，図4.41のように示します．

▼図4.41 分巻電動機のシンボル

しかし，エレクトロニクスに広く利用されるモーターは，回転速度制御，回転角度制御に使用される場合が多いわけです．

いわゆる，機械的位置を制御するメカニズム（サーボメカニズム）に利用されるのに好適なサーボモーター，パルスモーター，および直流モーターは，入力電圧に対してのモーターの回転が，速い応答を持つモーターでなければなりません．

▼図4.42 アラゴの円板

これらの要求に対し，モーターの機構改造がなされ，巻線構造に多くの種類があります．

▼図4.43 AC サーボモーター

■A AC サーボモーター

図4.42における磁石を矢印方向に回転すると，磁界中にある円板は，滑り角度だけ遅れ（滑り）をもって，磁石と非接触に回転が起きます．

磁石（アラゴの円板）を動かすのと同じ原理で，円板の外部から磁界を回転させる方式の，交流誘導モーターやよく目にする家庭用電力計などでは，固定子側のコイルを工夫して，回転磁界を与えています．

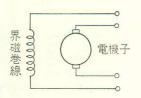
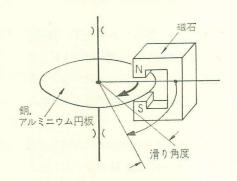
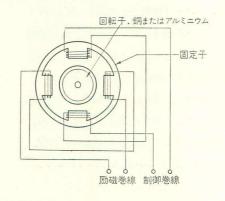
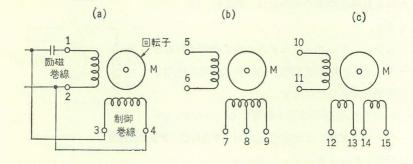
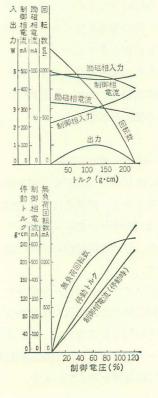



図4.44　モーター内巻線のシンボル

前ページの図4.43において，励磁巻線と直角に位置する制御巻線とに，位相のずれた交流電圧を供給すると，非接触の回転子は，回転力を与えられます．

このモーター内巻線の代表的な3種のシンボルを，図4.44に示しました．

励磁巻線に，駆動する主な力を発生する電圧（通常 50/60Hz，AC100V）が常時印加されているとき，制御巻線に与えられる電圧と回転速度，トルクの関係は，図4.45の特性を示します．

すでに，図4.42から判るように，必ず滑りがトルクの発生源となるため，形状に対して大きな軸出力はとれず，100W程度までが市販されています．

▼図4.45　サーボモーターの特性

■B　パルスモーター（ステップモーター）

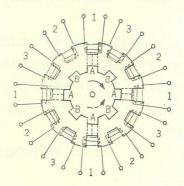
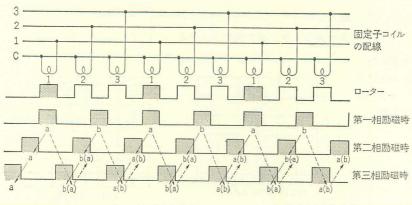
交流サーボモーターの回転の連続的（アナログ的）制御に比べ，数値的（ディジタル的）制御に使われるのがパルスモーターです．

図4.46のように，パルスモーターは，等分割された固定子電極に対し，角度のズレた凸起の軟鉄または磁化鉄の回転子を持っています．

図の位置では，固定子凸起1と，回転子凸起Aが対極となり，吸引されています．

固定子の電極は，周上が図4.47のように結線されていますので，C―1相に直流電圧が印加されていれば，停止を続けます．

ここで，図4.48の第一相励磁状態から，図4.47のC―2相に直流電圧を変化させ，図4.47の第二相励磁の状態にすると，固定子の電極と回転子の凸起Bが対極となり吸引されるため，回転

▼図4.46　パルスモーターの原理図

▼図4.47　パルスモーターの配線と動作状態

子は──→の方向にまわります．

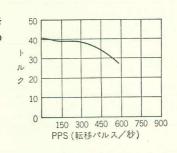
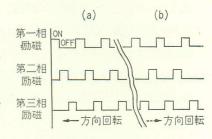
このようにして，固定子コイルへの印加順序を，図4.48（a）のようにすると，回転子は──→方向に回転しますが，図4.48（b）のように印加順序を変えると，図4.47の（　）の方向に吸引され，…→の方向にまわります（図4.46の場合は，1パルスの転位で，15°回転する）．

▼図4.48　パルスモーターの動作図

これを一相励磁といいますが，二相を同時に励磁して回転を与えるものを二相励磁，また一相励磁し，次に二相励磁した後に一相励磁することによって，回転するものを一・二相励磁といいます．

これら三相パルスモーターの励磁方式を表4.3に示しました．

さて，図4.49はパルスモーターの特性を示したものですが，横軸に単位時間に転位するパルス数（表4.3のステップ1→2→3と移っていくときの速度）を，タテ軸にトルクを

▶図4.49

パルスモーターの特性

▼表4.3　三相モーター励磁方式

一　相　励　磁

ステップ	第一相	第二相	第三相
1	○		
2		○	
3			○
1	○		
2		○	

二　相　励　磁

ステップ	第一相	第二相	第三相
1	○	○	
2		○	○
3	○		○
1	○	○	
2		○	○

一，二相励磁

ステップ	第一相	第二相	第三相
1	○	○	
2		○	
3		○	○
4			○
5	○		○
6	○		
1	○	○	

○印　励磁相

▼図4.50　パルスモーターのシンボル

(a) 二相　(b) 三相　(c) 四相

示しています．

モーターの相の間を転位する速度が遅いときは，回転子の凸起は，確実に固定子の相に相対して回転していますが，転位速度を早くしていくと，固定子側での位相速度に回転子の回転が追従できなくなり，トルクが降下します．

グラフに示されている特性の平担部，つまり300パルス/秒——PPS (Pulse Per Second) で示す——以下で使用するのが望まれます．

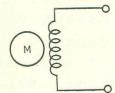
図4.50は，二相，三相，四相のパルスモーターのシンボルの示し方です．

■C　直流モーター

161ページの 図4.41 が同様に直流モーターのシンボルとして使われます．

回転軸の制御には，界磁巻線電流を変化させる方法と，電機子電流を変化させる方法とがありますが，一般には，界磁電流を一定に保ち，電機子電流を変えます．

これは，出力軸への応答が早く，安定してい

▼図4.51　界磁巻線型直流モーターのシンボル

るからです．

また，駆動用にだけ使われる直流モーターと区別して，回転子の慣性モーメントを小にした直流サーボモーターと称するものもありますが，駆動原理はすでに第3話でお話ししたものと，ほぼ同じです．

ただし，一部小型の出力のものには回転子を永久磁石化し，界磁巻線の電流変化で回転を制御しますが，このときは，シンボルを図4.51のように示せばよいわけです．

▼図4.52　永久磁石回転子を有する直流電動機の特性

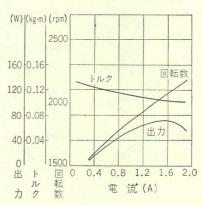



図4.52の特性は，この電動機の特性を示したものですが，印加された電圧によって流れる電流を横軸に，タテ軸にはトルクおよび回転数，出力が示してあります．このグラフを見ますと，電流の増大とともに回転数は上昇し，トルクは減少しています．

また，回転出力は，最大回転数までの間に，最大値があります．

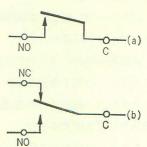
2.12　リードスイッチとリードリレー

通常利用されているリードスイッチのシンボルを図4.53に示します．

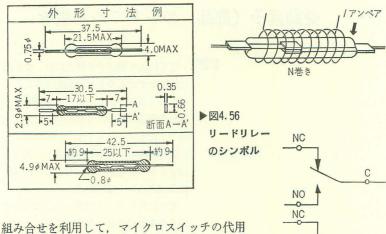
また，その外形を図4.54に示します．

さて，リードスイッチは，通常のリレー接点より，応答する速度が早いため，電子回路中にも多く使われています．

また，リードスイッチの外周へコイルを巻いて，磁界を作るリードリレーとしても使用されますし，リードスイッチと永久磁石の磁界との

▼図4.53　リードスイッチのシンボル

▼図4.54　リードスイッチの外形図

▼図4.55　リードリレーの原理図

▶図4.56　リードリレーのシンボル

組み合せを利用して，マイクロスイッチの代用にもされます．

しかも，マイクロスイッチに比較して，速応性があり，接点の外部雰囲気に対する密封性が良いなどの利点があります．

リードスイッチの感応性は，磁界の強さによって定められますが，図4.55に示しましたリードリレーの原理図において，N巻きされた銅線にIアンペアの電流を流し，接点が閉じ始めるとき，電流によって作られる磁界に相当する値として……

$N \times I$アンペア・ターン（AT）

……で，その感応性を示します．

図4.56は，リードリレーのシンボルを示したものです．

第4話　§その3
受動素子（部品）のシンボルと働き

☞ 電子回路を構成する部品には，能動的な作用をするものと，受動的な作用をするものとがあります．例えば，回路中の信号の伝達経路を，入力側から出力側へ向って追っていきますと，部品自体が入力信号に対して増幅であるとか，発振であるとかの作用をしているものを，能動素子（部品）と呼びます．

それに対して，出力側へは，入力信号以上の能動的な作用をせず，単に，信号の伝達を行なうものを受動素子（部品）と呼びます．

ここでは，受動素子について，そのシンボルと働きをお話しします．

3.1　受動素子と能動素子の違い

例えば，トランジスタはベースに微小信号電流を与えますと，コレクタの大きな電流に変化を伝達することができます．

また，ＳＣＲのゲートに，微小な電圧を与えますと，アノードからカソードに流れる電流を制御することができます．

これらが，能動素子の代表的なものといえます．

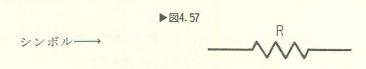
一方，抵抗器は，その両端に電圧を印加すれば，抵抗に流れる電流は，主として発熱に消費され，両端に印加された電圧が回路信号として，能動的に出力することはありません．

したがって，抵抗器は受動素子の代表的なものといえます．

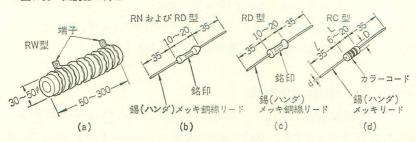
しかし，回路を構成する部品が，たとえ受動素子であるといっても，回路構成上，ムダなものは１つもありません．

というのは，受動素子は，能動素子を高能率に働かせる補助的な役割をするとともに，信号の伝達を行なうからです．

3.2　固定抵抗器（Fixed Resistor）

▶図4.57

▼表4.4　固定抵抗器の分類

分　類	外　観	構　　造	電力容量	抵抗範囲	定格表示法
ホーロー抵抗器	図4·58 (a)	金属抵抗線を巻き，ホーロー引きにしたもの．単なる巻線のものもある．	3W～1,000W	0.1Ω～90KΩ	RW31－J－100 形式 ±5% 100Ω (6W)(ツノ端子)
金属皮膜抵抗器	〃 (b)	金属を蒸着または，酸化物を焼付けたもの．	1/10W～10W	1Ω～1MΩ	RN65－1/4W RN70－1/2W RN75－1W
炭素皮膜抵抗器	〃 (c)	粉末塗布したもの(電力用) 熱分解したもの(高周波用)	1/8W～8W	1Ω～10MΩ	RD1/2L (L型で1/2W) RD1/2P (P型で1/2W)
ソリッド抵抗器	〃 (d)	炭素を混合し，固め，外周を樹脂固めしたもの．	1/8W～2W	1Ω～10MΩ	主にカラーコードによる． (稀にRC1/2)

▼図4.58　抵抗器の外形

■A　抵抗器の用途

抵抗器は，次の用途に使われます．

（i）電流，電圧の伝達…………電気回路を形成するとき，電流（電子）の流れる道を作る．

（ii）電流の規制…………………電流の流れる量を加減する

（iii）発熱体………………………ヒータなどのように，消費した電力が，発熱となる．

（iv）電圧分割……………………高い電圧から低い電圧を取り出すとき，抵抗によって分圧できる．

以上のような目的を持つ抵抗体は，表 4.4 のように分類できますが，そのシンボルは図4.57のように示します．

さて，表 4.4 の定格表示法を見ますと，記号による表示とカラーコードによる表示法とがあります．カラーコードによる表示法は，次項で述べますので，記号による表示例の見方を述べておきます．

（i）……RW31-J-100……Power Type Coated Wire Wound Resistor

一般的な型は，大きさ（定格電力）により，≪RW-31～RW-36≫までの6種があり，≪-J≫は耐環境特性（耐熱，耐湿）を示し，他に≪-V，-G，-I≫の3段階があります．また，≪-100≫は抵抗値100Ω を示します．

（ii）RN65-1/4W……Metal Film Fixed Resistor

≪65≫と示してあるのは，ホーロー抵抗器と同じように形状を示しています．

（iii）RD1/2L……Fixed Carbon Film Resistor

≪1/2≫は定格電力1/2Wを示し，両端リードの出方によって，軸心と同一方向のリードの≪P型≫と軸心と直角な≪L型≫とがあります．

■B　ソリッド抵抗器の定格表示法

ソリッド抵抗を銘記するとき，RC1/2（Fixed Carbon Composition Resistor 1/2W）と示しますが，最近ではほとんどカラーコード化されたものが多

くなりました．

カラーコードの場合は，円周に色の帯があり，印刷の不鮮明がなく，またどの向きでも読み取れる利点があります．

このカラーコードの読み方は，たとえば，図4.59で，第1色帯から赤，緑，黄，銀であるとすると，表4.5より，太い数字を選び出すことができます．

これより……

25×10⁴Ω±10%

　　　＝250kΩ±10%

の抵抗であることを示します．

しかし，このカラーコードでは，消費電力や安全係数を見込んだ抵抗の定格電力が判りません．

そこで，この定格電力を知る必要があるのですが，これは図4.58(d)の外形寸法(L, D, l, d)と，次のページの表4.6とによって決められています．

ところで，表4.6の最高使用電圧とは，抵抗の両端に印加して使用してよい電圧を示していますが，例えばRC-1/2の定格電力0.5W(1/2W)の抵抗の両端に350Vの電圧を印加しているときは，安全係

▼図4.59　抵抗体のカラーコード

▼表4.5　カラーコードの表示内容

色	第1色帯	第2色帯	第3色帯	第4色帯
黒	0	0	10^0	±20% B（級）
茶	1	1	10^1	
赤	2	2	10^2	
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
緑	5	5	10^5	
青	6	6	10^6	
紫	7	7	10^7	
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	±10%（B級）
金	—	—	10^{-1}	±5%（A級）
銀	—	—	10^{-2}	±10%（A級）
無	—	—	—	±20%（A級）

数を1とすると，次の項Cで示す式から，……

$$R=\frac{V^2}{W}=\frac{350^2}{0.5}=245k\Omega$$

以下の抵抗器は使えないことを示しています．

また，表における，最高過負荷電圧とは，印加される電圧が短時間印加されても，故障が起きない最高電圧のことです．

▼表4.6　抵抗体の定格電力

形　名	定格電力(W)	寸法（mm）				最高使用電圧(V)	最高過負荷電圧(V)
		L	D	l	d		
RC-1/8	0.125	5.6	2.1	25	0.5	150	250
RC-1/4	0.25	6.3	2.4	38	0.6	250	400
RC-1/2	0.5	9.5	3.6	38	0.7	350	700
RC-1	1	14.0	5.6	38	1.0	500	1,000

■C　抵抗の働き

電気回路の基本はオームの法則であるのはご存じだと思いますが，電圧と電流，抵抗には……

$$電流I(A)=\frac{電圧V(V)}{抵抗R(\Omega)}$$

……の関係があります．

抵抗が小さいとたくさんの電流が流れ，大きいと流れが少なくなります．

つまり抵抗器は，流れ易さ，流れにくさを決める素子といえます．

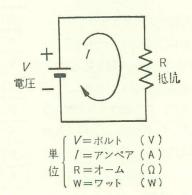
この抵抗の消費電力(W)は……

$$W=I^2\times R=\frac{V^2}{R}$$

……となります．

▼図4.60　抵抗の働き

また，この消費電力は，発熱に大部分が消費されます．

Vは，交流電圧でも同じことで，瞬間的には，すべて，オームの法則が成立します．

■D　抵抗器の電力容量と選び方

抵抗の電力容量（ワット数）は，

表示ワット数≧抵抗体の消費電力

……であればよいわけですが，普通，余裕をみて，2～5倍（安全係数）のワット数の抵抗を用います．また，電子回路用としては，1/8W，1/4W，1/2W，1W，2W，4W，5W程度が多いようです．

■E　抵抗の接続法

抵抗の接続法は，直列接続と並列接続が基本です．

抵抗器は，例えば1kΩを1コだけでなく，2コ直列に接続することができますが，同じ値のものなら2倍(2kΩ)になります．

図4.61（a）は2コ直列に接続した例で，全抵抗をRとすれば……

$$R = R_1 + R_2\ (\Omega)$$

……となります．

次に，抵抗器を電池(V)に対し，図4.61（b）のように接続する方法を並列接続といいます．

直列と異なる点は，電流が分割されることで，各抵抗の両端には，同じ電圧がかかります．

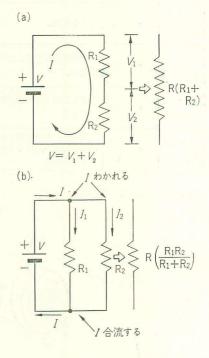
▼図4.61　抵抗の接続法

つまり，……

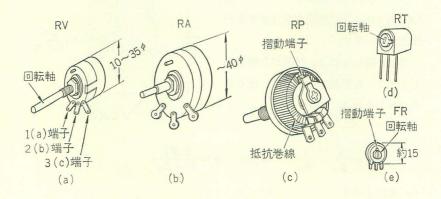
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\qquad \text{または}\qquad R = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

……となります．

3.3 可変抵抗器

▶図4.62

▼表4.7 可変抵抗器の分類

分類	外観	構造	電力容量	抵抗範囲	表示法
炭素系可変抵抗器	図4・63 (a)	フェノール板上に，炭素粉末を塗布．	1/4W～5W	100Ω～3MΩ	RV20－105－B 形式 100KΩ(10⁵Ω) B型特性
金属皮膜可変抵抗器	〃 (a)	金属を蒸着．	1/4W～10W	100Ω～20KΩ	
巻線可変抵抗器	〃 (b)	金属抵抗線の巻線，比較的精密用．	1/4W～20W	4Ω～500KΩ	RA30－103 形式 1KΩ(10³Ω) (300°回転)
電力型巻線抵抗器	〃 (c)	金属抵抗線にホーロー引がしてある．	10W～1000W	5Ω～1KΩ	RPS50－500
トリマー型可変抵抗器	〃 (d)(e)	金属巻線，炭素皮膜，金属皮膜等あり，小型，半固定，プリント板．	1/8W～1W	10Ω～1MΩ	製造者により，各種記号を使用．

▼図4.63 可変抵抗器の外形

■A　可変抵抗器の用途

可変抵抗器の用途として，古くからラジオ受信器などの音量調整用として用いられています．

すでに，固定抵抗器の項で，電圧分割ができることを示しましたが，可変抵抗器では，この電圧分割を連続的に行なうことができます．

電気回路においては，単に音量などの大きさを変化させるために用いる場合と他の素子，または動作状態などの特性に合せて変化させ，最適の値を選びそれ以後は動かさない，半固定の場合とがあります．

これらの目的を持つ可変抵抗器は，表 4.7 の分類がされ，図4.63 の外形をしています．また，シンボルは，図4.62 のように示します．

さて，表 4.7 の表示法は，記銘法により次のようになっています．

（i）RV20-105-B……Variable Carbon Resistor

《20》は大きさとして，直径（mm）を示し，《−105》は公称全抵抗値で，10^5＝100kΩを示します．

《−B》は次の項で述べる回転変化特性を示します．

（ii）RA30-103……Wire Wound Variable Resistor

《30》は直径（mm）を示し，《−103》は10^3＝1kΩ　を示します．

（iii）RPS50-500……Power Type Coated Wire Wound Variable Resistor

《S50》は定格電力50Wを示し，《−500》は500Ωを示します．

（iv）トリマー型 可変抵抗器は，製造者によって，RT，TF（Metal Film Trimer)，FR (Semi Fixed Variable Resistor) とか記銘されています．

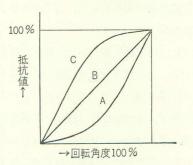
これは主として，プリント板に取り付けられ，半固定で回路の抵抗値の調整個所に使用されています．

■B　回転変化特性

可変抵抗器の抵抗変化は，軸の回転により行ないますが，この回転角度と摺動端子に現われる抵抗値変化の特性の違いによって，図4.64 のA，B，C型の3種があります．

さらに，巻線型の中には，多回転式のものがあり，規定の抵抗値が10回転で得られるものもあります．

これをヘリカローム（Helical-ohm）といいます．

▼図4.64　回転角と抵抗値の関係

■C　可変抵抗の接続法

▼図4.65　可変抵抗の接続法

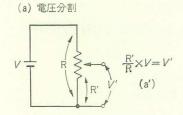
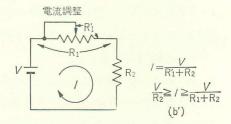



図4.65（a）は，可変抵抗器の両端に印加される電圧値以下を任意に取り出したいときの接続法です．

これは，電位を取り出せる意味から，特に精密な可変抵抗をポテンショメータとも呼びます．

図4.65（b）は，負荷R_2へ流す電流を制限する目的の接続方法です．

（a）図の中間端子の位置によって取り出せる電圧は（a'）式によって求められます．

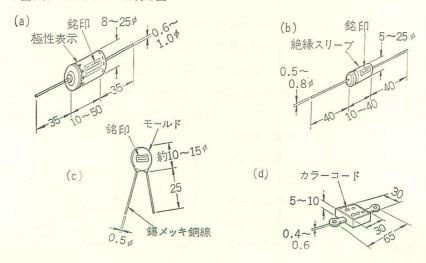
また（b）図の電流制限範囲は，（b'）式によって求められます．

これらの電位を取り出す使い方と，電流を制限する使い方は，電子回路の中で各所に使われます．

3.4　コンデンサー

▼表4.8　コンデンサーの分類

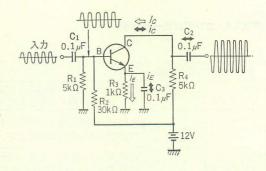
分　類	外　観	特　　　長
電解コンデンサ	図4・67(a)	1μF〜10,000μFの大容量まであり,主として低周波用.極性があって,指示通りに電圧を加える.リード線型とL型がある.
ペーパー(オイル)チューブラーコンデンサ	〃　(b)	0.01μF〜1μF程度で一般用として広く用いられている.周波数は可聴周波数程度まで.
磁気コンデンサ	〃　(c)	高周波用で比較的小容量　1pF〜0.05μF 円板状のもの,L型のもの,カラーコードもある.
マ イ カ	〃　(d)	高周波用,小容量,高耐圧用として利用されている.非常に温度に対し安定.
M P	(b)	Metallized paper の略で,ペーパーコンデンサに比べ小型 0.01μ〜3μF

▼図4.67　コンデンサーの外形図

■A　コンデンサーの用途

（i）高周波電流のバイパス用………高周波回路で直流回路の中にある交流の重畳分を除去する．

図4.68 に回路例を示しますが，この回路はラジオの高周波増幅部を示したものです．図において，トランジスタの各電極には，直流のバイアス電流と高周波電流が重畳して流れています．

▼図4.68　コンデンサー使用の回路例

エミッタと接地間には，抵抗とコンデンサーが並列接続されていて，抵抗はバイアス電圧を決める上で重要な働きをしています．

そこで，一定の直流電流が流れなくてはならないエミッタに，高周波電流が重畳しているため，コンデンサーでこの高周波電流をパスさせてやり，抵抗には直流電流だけを流します．

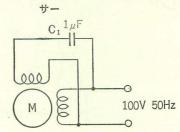
図中，C_3のコンデンサーの用途が高周波バイパス用です．

（ii）交流電流の伝達………回路間の交流電流分だけ伝達する．

図4.68 において，C_1，C_2 のコンデンサーは，交流信号の伝達に用いられるものです．これは，交流信号の伝達と直流電流を阻止する目的と両方の働きをします．

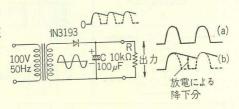
（iii）位相の変化……電圧と電流の位相が変化することを利用してモーターなどを駆動する．

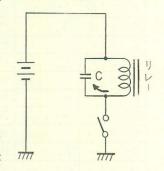
モーターの中で，コンデンサーを図4.69 のように用いて駆動するものがあります．これは，モーターの2

▼図4.69　モーター中に内蔵されたコンデンサー

つの巻線に流す交流電流の時間的なずれ（位相）を利用して回転を与えるものです．

（iv）蓄電………大容量コンデンサーを用いて電気を蓄える場合，および交流電流の沪波に用いる．

図4.70 の回路においてコンデンサーがないとき，出力電圧は（a）のような形の半波整流電圧となりますが，コンデンサーを挿入すれば，蓄電によって，（b）のような形の波形になります．

▼図4.70　コンデンサーによる蓄電

（v）スパークキラー……リレー接点から発する火花を消去するとき，図4.71 の回路のように，接点を閉じて開放するとき，リレーコイルに発生する逆誘起電圧をコンデンサーで矢印方向に流し，消去します．

▼図4.71　コンデンサーによるスパークキラー

■B　コンデンサーの表示

電解コンデンサー，ペーパーコンデンサー，MPコンデンサーは定格電圧および静電容量が捺印されることが多いのですが，電圧および容量の指示は単位の μF（マイクロ・ファラッド）を省略してあるものもあります．

また，電圧値も数の桁を短縮してあるものも多いようです．

例：MP　16T-047……定格電圧160V，静電容量 0.047μF

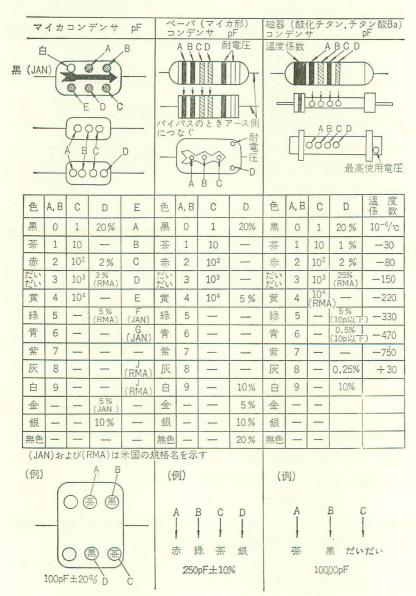
　　350　LADN-100……　〃　350V，　〃　100μF

ここにMP，T，LADNは製造会社の型名を示しています．これらの記銘法は各メーカーのカタログを調べればすぐ判ります．

さて，磁気コンデンサーおよび，マイカコンデンサーは，次の 表4.9 のカラーコード表で定格が示されます．

▼表4.9　コンデンサーの色別表と読み方例

色	A, B	C	D	E	色	A, B	C	D	色	A, B	C	D	温度係数
黒	0	1	20%	A	黒	0	1	20%	黒	0	1	20%	10^{-6}/℃
茶	1	10	—	B	茶	1	10	—	茶	1	10	1%	−30
赤	2	10^2	2%	C	赤	2	10^2	—	赤	2	10^2	2%	−80
だいだい	3	10^3	3%(RMA)	D	だいだい	3	10^3	—	だいだい	3	10^3	25%(RMA)	−150
黄	4	10^4	—	E	黄	4	10^4	5%	黄	4	10^4(RMA)	—	−220
緑	5	—	5%(RMA)	F(JAN)	緑	5	—	—	緑	5	—	5%(10p以下)	−330
青	6	—	—	G(JAN)	青	6	—	—	青	6	—	0.5%(10p以下)	−470
紫	7	—	—	—	紫	7	—	—	紫	7	—	—	−750
灰	8	—	—	J(RMA)	灰	8	—	—	灰	8	—	0.25%	+30
白	9	—	—	J(RMA)	白	9	—	10%	白	9	—	10%	
金	—	—	5%(JAN)	—	金	—	—	5%	金	—	—		
銀	—	—	10%	—	銀	—	—	10%	銀	—	—		
無色	—	—	—	—	無色	—	—	20%	無色	—	—		

(JAN)および(RMA)は米国の規格名を示す

■C　コンデンサーの接続と働き

コンデンサーを図4.72（a）のように並列に接続すると，その容量値は，

$$C_1+C_2\ \mathrm{(F)}$$

………となります．

なぜなら，電荷(Q)と電圧(*V*)と容量(C)の間には………

$$Q=CV$$

………なる関係があり，*V*(V)より送りこまれた総電荷は，C_1 と C_2 に蓄積されていますから………

$$Q=Q_1+Q_2$$

………したがって，

$$Q=C_1V+C_2V=(C_1+C_2)V$$

………となります．

次に図4.72（b）のように直列に接続しますと，全容量(C)は………

$$C=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}}$$

………となります．

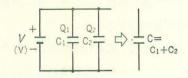
電荷(Q)は電流によって蓄積されるものですから，C_1 と C_2 では，同じ値になります．

したがって………

$$V=V_1+V_2=\frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}$$

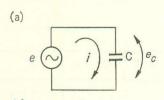
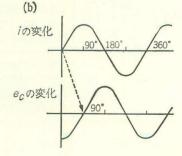
$$=\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}\right)Q$$

▼図4.72　コンデンサーの接続

(a) 並列接続

(b) 直列接続

▼図4.73　コンデンサーによる電圧位相の変化

(a)

(b)

$$C=\cfrac{1}{\cfrac{1}{C_1}+\cfrac{1}{C_2}}$$

………となります．

抵抗の直列接続とコンデンサーの並列接続，抵抗の並列接続とコンデンサーの直列接続が対応しています．

次に，電圧と電流の関係を調べてみましょう．

コンデンサーに，図4.73（a）のように，交流電圧を印加すると，その電圧と電流の関係は，電流が流れ込むことによって，Cの両端には電圧が生じますから，電流の波形変化を，Cの両端の電圧の発生へ変換しますと，図4.73（b）のように，90°の電圧位相が遅れることが判ります．

3.5　コイル（線輪）

▶図4.74

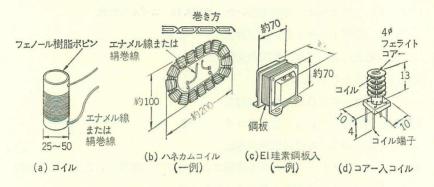
シンボル──→

L　空心コイル

L　鉄心入コイル

▼表4.10　コイルの分類

分類	形式	構造・用途
空心コイル	図4・75 〃　(a) 〃　(b)	ベークライト等の絶縁棒またはボビンにエナメル銅線を巻いたもの．一列に巻いていく方法（単層ソレノイド）や，格子状に径を大きく巻く（ハネカム）方法等ある．同調回路等比較的高い周波数のところに用いる．インダクタンスは小さい値．
鉄心入コイル	〃　(c) 〃　(d)	大きなインダクタンスを得るときは，鉄心またはコアの上にエナメル銅線を巻く，ＥＩ珪素鋼板は低周波用として電源整流回路の沪波回路に，コア（圧粉鉄心）入は高周波回路用として同調回路その他に用いる．

▼図4.75　コイルの外形図

■A　コイルの用途

コイルは，次の用途に使われます．

(ｉ) 交流電流の阻止……チョークコイルとして，電源整流回路などに用いられる．

(ii) 共振回路……………コンデンサーと並列，または直列接続することにより，電気的固有振動を起こす．

(iii) 高電圧発生用………コイルに電流を流しておき，回路を急に遮断すると高電圧が発生する．

(iv) 鉄心コイルに電流を流すと，磁力が発生し，電磁石として利用できる．

■B　チョークコイルとは

チョークコイル（Choke Coil）は，よく聞く名称ですが，コイルを高周波電流の阻止に用いるとき，または，その目的に作られたものをいいます．

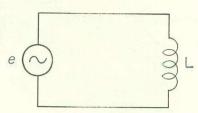
コイルには，このように交流電流の流れを妨げる働きがありますが，これをインダクタンスといい，単位はヘンリー(H)で表わします．

チョークコイルは空心のもの（高周波用チョークコイル）と鉄心入りのもの（低周波用）とがあります．コイルは，表4.10のように分類でき，図4.74のようなシンボルで表わします．

■C　コイルの働き

コイルなどのように，導体を巻いたものには，必ずインダクタンスが存在し，交流電流に対しては，電流の変化を妨げる働きをします．

▼図4.76　コイルの働き

コンデンサーの場合は，電圧に対し電流の位相が進んでいましたが，コイルの場合は，逆に，電流の位相が遅れます．これは，インダクタンスの作用によるもので，簡単にいえば，電流が流れるのを妨げる方向に磁界が発生するからです．

したがって，ゆっくりした変化(低周波)に対しては妨げが少なく，速い変化(高周波)に対しては妨げが大きくなります．

さて，コイルの交流抵抗計算の方法は，図4.76 の回路において，交流電源 e（周波数 f Hz）に対するインダクタンス L ヘンリー（H）のとき，抵抗は $2\pi fL$ で表わします．

たとえば，1Hのチョークコイルが 50Hz の交流に対しては………

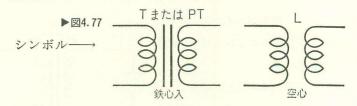
$$2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 1 = 314.2\Omega$$

………の交流抵抗（インピーダンス）を持ちますので，e =100V.AC，50Hz の交流に対する1Hのチョークコイルには………

$$\frac{100\mathrm{V}}{314.2} \fallingdotseq 0.32\mathrm{A}$$

………の正弦波電流が流れることになります．

3.6　トランス（変圧器）

▶図4.77

▼表4.11　トランスの分類

分　類	外観例	構　造　用　途
電源トランス	図4·78 (a)	主として商用電源（AC100V）の変圧に用いるもので比較的電力容量が大きい．鉄心にエナメル銅線を巻く．
低周波トランス	〃　(b)	オーディオアンプ等の終段でスピーカを鳴らすための結合トランス，また増巾回路内に用いる．可聴周波数範囲（最大20KHzぐらい）
同調トランス	〃　(c)	中間周波トランスと呼ばれるものがある．一般にコンデンサとともに用いられ同調回路を形成増巾段結合，広い周波数範囲
パルストランス	〃　(d)	パルス信号の増巾，伝達回路に用いられる．巻線間の分布容量を特に少なくしてあり，鋭いパルスに応答する．電力容量はとれない．

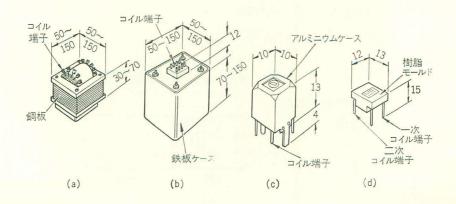
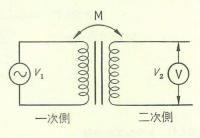
▼図4.78　トランスの外形図

■A　トランスの用途

図4.79のように，２つのコイルを接近して巻き，片方のコイルに交流電流を流すと，他方のコイルに電圧が誘起されます．

これを電磁誘導作用と呼びます．

このようにして，コイルの巻数比を変えることによって，他方には自由な値の電圧を得ることができます．

▼図4.79　トランスの原理図

入力を加える側を一次側，取り出す側を二次側といい，一次側より二次側が低くなるとき降圧，逆の場合を昇圧と呼びます．

誘起される電圧は，相互インダクタンス(M)という定数に大きく影響されますが，この値が大きい程，結合が大きいといえます．

この作用を利用して，次の３つの用途があります．

（ｉ）変圧作用……電源トランスとして，降圧，昇圧などを行なう．

では，これを電源トランスの使い方として示してみましょう．

≪一次側と二次側の電力容量の関係≫

図4.80のように，二次側50Ｖ，１Ａの定格を有するトランスは，……

$$50\times 1=50\text{W}$$（ワット）

………の容量があるといい，一次側は………

$$100\times i_1 \fallingdotseq 50 \quad より \quad i_1 \fallingdotseq 0.5\text{A}$$

………流れます．

つまり，………

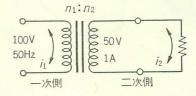
〔一次側電圧×電流〕

＝〔二次側電圧×電流〕

………となります．

≪巻数比と電圧の関係≫

ほぼ………

▼図4.80　トランスの変圧作用

$e_1 : e_2 = n_1 : n_2$

………の関係にあります．

≪巻き方の方向により，入力側と出力側の位相が逆転する≫

時により巻き方の相を示すため図4.81のように●印をうつことがありますが，この場合，二次側に同位相のものが現われます．

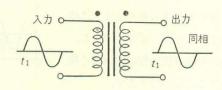
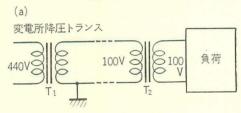
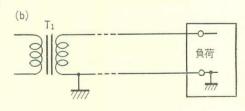
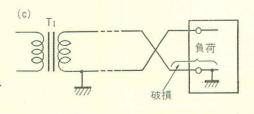
▼図4.81　トランスのコイルの巻き方

（ii）接地電位の分離

………100V の供給源からトランスで変圧し，変圧した二次側の一端を接地すれば，接地電位と同電位に保つことができるので，危険性が少なくなる．

商用交流電源は，変電所の受電トランス T_1 によって，440V ラインから100V に降圧されていますが，一方は接地されるのが普通です．

この電線を使用するときに，図4.82（a）のように，100V：100V のトランスを使って負荷を駆動すれば，負荷は接地電位から浮いて使うことができます．

また逆に，負荷側で，もし入

▼図4.82　トランスの接地電位の分離作用

力100V の一方が接地されているものであると，図4.82（c）のように逆に接続するという事故を起こすときもあります．このとき，T_2を使えば安全ですし，逆に電源の接地相に関係なく接地することができます．

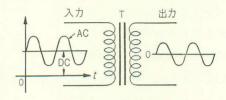
▼図4.83　トランスの交流信号だけの伝達

(iii) 交流信号の伝達………直流電流は伝達しないが，交流信号は伝達する．

図4.83 のように，入力に直流電流（D C）に重畳された交流電流（A C）が供給されると，交流分だけを伝達します．

第4話　§その4
能動素子(部品)のシンボルと働き

☞　電子回路において入力信号が部品に与えられるとき，その部品の出力信号が増幅されたり，整流，検波，または信号の形態が変換される部品を能動部品といいます．例えば，機械において，回転軸に取り付けられたカムは，入力信号としての回転角度を変位として出力します．カム面に接触して変位を伝達するカムフォロワー(レバー)があるとき，カムは能動部品，レバーは受動部品と考えてよいでしょう．これを電子回路と比べるとき，カムは真空管，トランジスタに匹敵し，レバーは抵抗，コンデンサーに匹敵します．では能動部品としてのシンボルと働きについてお話しします．

4.1　一般用ダイオード

第3話でも述べましたが，ダイオードや整流素子は，順方向には電流が流れ易いが，逆方向には電流が流れにくくなっています．この意味をシンボライズして図4.84のように，矢印でダイオードのシンボルとします．

ダイオードの原理は，第2話の≪電子の働き≫の項でお話ししましたが，このダイオードの分類は表4.12のように製造方法によって行ないます．

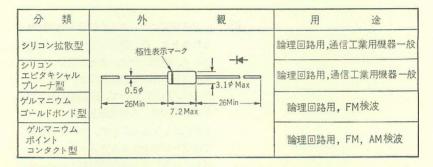
なお，表において，エピタキシャルプレーナ型とありますが，これは拡散型と類似したものと考えてください．

ダイオードの用途は機能面から考えますと次の4種類に分類できます．

（i）整流用……………比較的小さな電圧，電流の交流を直流に変換する．

▶図4.84

▼表4.12　一般用ダイオードの分類

分　類	外　観	用　途
シリコン拡散型		論理回路用,通信工業用機器一般
シリコン エピタキシャル プレーナ型		論理回路用,通信工業用機器一般
ゲルマニウム ゴールドボンド型		論理回路用，FM検波
ゲルマニウム ポイント コンタクト型		論理回路用，FM，AM検波

(ii) 論理用…………パルス信号の動作によって論理回路に用いる．

(iii) 検波用…………ラジオ，テレビなどの回路に多く用いられ，重畳された交流信号波から，主信号波を取り出す．

(iv) サージ吸収用…リレーなどのコイルを含む回路の電流をＯＮ—ＯＦＦしたときに発生する逆起電圧を吸収する．

A　整流用

さて，図4.85のように，トランス(Ｔ)の二次側にＡＣ50Ｖが誘起されていると仮定しますと，ダイオードD_1に順方向電圧が供給されると導通し，負荷5kΩの両端に50Ｖの半波が印加されます．

次に，逆方向電圧がダイオードD_1に供給されると電流が阻止され，ダイオードD_1に逆方向に50Ｖの半波が印加されます．

50Ｖの交流は正弦波状に電圧が変化していますので，正弦波の最大値は，公称電圧50Ｖ（実効値という）の$\sqrt{2}$倍の70Ｖになります．

したがって，順方向の半波の間で電流は………

$$\frac{50\mathrm{V}}{5\mathrm{k}\Omega}=10\mathrm{mA}$$

………の半波の電流が流れ最大順電流は………

$$\frac{70\text{V}}{5\text{k}\Omega}=14\text{mA}$$

………が流れます.

また，逆方向の半波では，70Vの最大逆電圧がダイオードD_1に印加されています.

▼図4.85　ダイオードの整流回路

では，表4.13，表4.14のダイオード1S1553の特性表を例に，定格値との関連を調べてみます.

普通，特性表にはその素子に印加できる最大の定格を示す，最大定格表(表4.13)と，最大定格値以下での使用条件において，その特性を示す電気的特性表（表4.14）があります.

▼表4.13　最大定格（周囲温度25°C）

項　　目	記　号	定　格	単　位
せん頭逆電圧	V_{RM}	70	V
直流逆電圧	V_R	60	V
せん頭順電流	I_{FM}	300	mA
平均順電流	I_O	100	mW
許容損失	P	300	mW
接合部温度	T_j	150	°C

両表に周囲温度 25°Cと付記されていますが，これは≪放熱板の項≫でも述べましたように，周囲温度により素子の接合部からの放熱状態が変わり，特性が変化するからです．一般に，周囲温度が高いと，最大定格の値は低くなり，電気的特性値は与えられた条件に対し，順電圧は低下し逆電流は増加します.

▼表4.14　電気的特性（周囲温度25°C）

項　目	記号	条　　件	最　大	単位
順電圧	V_F	$I_F=100\text{mA}$	1.4	V
逆電流	I_R	$V_R=60\text{V}$	50	μA

さて，図4.85の整流回路で，ダイオードD_1の動作状態を調べてみましょう.

せん頭逆電圧　$V_{RM1}=50\times\sqrt{2}\fallingdotseq70\text{V}=V_{RM}=70\text{V}$

せん頭順電流　$I_{FM1}=70\text{V}/5\text{k}\Omega=14\text{mA} < I_{FM}=300\text{mA}$

平均順電流　$I_{O1}=\dfrac{50\ \text{V}}{5\text{k}\Omega}\times\dfrac{1}{2}=5\text{mA}<I_O=100\text{mA}$

$\left(\times\frac{1}{2}\right.$は順電流が半波であるため長時間の平均を$\left.\frac{1}{2}\right.$とした$\left.\right)$

電力損失　$\text{P}_1=(I_{F1}\times V_{F1})+(V_{R1}\times I_{R1})$

$=\left(10\text{mA}\times 0.7\text{V}\times\frac{1}{2}\right)+\left(50\text{V}\times 2\times 10\mu\text{A}\times\frac{1}{2}\right.$

$=(10\times10^{-3}\times0.7\times0.5)+(50\times 2\times10\times10^{-6}\times0.5)$

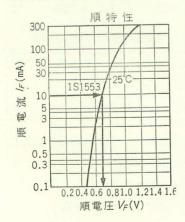
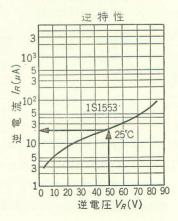
$\fallingdotseq 3.5\text{mW}<P=300\text{mW}$

………と各項目について，右欄の最大定格値を超えない範囲で使用していることが判ます．りまた，以上の値を定格値との比較から，接合部温度は150°C以下に十分おさえることができるでしょう．

上の計算においての電力損失の項のV_{F1}およびI_{R1}は，図4.86，図4.87によって示されている順特性，逆特性グラフから得ます．

それぞれに，順電流 $I_{F1}=10\text{mA}$については，順電圧 $V_{F1}=0.7\text{V}$ が，逆電圧 $V_{R1}=50\text{V}$ からは逆電流 $I_{R1}=2\times10\mu\text{A}$ が，グラフの ⟶ 印を追って求めることができるでしょう．

みなさんは，すでにお判りと思いますが，最初に，順方向のときは負荷に50

▼図4.86　ダイオードの順特性

▼図4.87　ダイオードの逆特性

Vの半波が印加されると述べましたが，負荷電流によって，ダイオードでは順電圧の微小電圧の降下が，グラフより判ります．

また，逆電圧のとき，D_1は電流が阻止されると述べたが，微小電流が流れていることが判ります．

表4.14において使用条件が順電流 $I_F=100$mA のとき，順電圧降下は，最大 1.4V以下であることを保証しています．

また，逆電圧 $V_R=60$Vのとき，最大逆電流(I_R)は，50μA 以下であることを保証しています．

■B　論理用

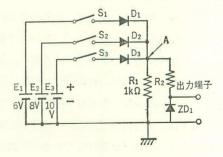
論理回路に使用されるダイオードは，整流用でお話ししました順方向，逆方向の電圧――電流特性に合った使われ方をされると同時に，入力信号に対する出力信号の応答速度が早いものを要求されます．

例えば，短時間に何万回も論理計算をしなければならないようなコンピュータにおいては，μS(＝10^{-6}sec)オーダでの早さの短縮が問題となります．

図4.88の論理用回路を例に説明しますと，ダイオードD_1～D_3はスイッチS_1～S_3を通って直流電源 $E_1=6$V，$E_2=8$V，$E_3=10$V の⊕に接続されています．

D_1～D_3のカソード側は，共通に負荷 $R_1=1$kΩに接続されるとともに，R_2を通して定電圧ダイオードZD_1を通り，直流電源の⊖に接続されています．

▼図4.88　ダイオードの論理用回路

出力端子は定電圧ダイオードの両端の電圧をとるとき，R_2→ZD_1を流れる電流は，負荷R_1に流れる電流より非常に少なく，定電圧ダイオードは，ツェナー電圧6V以下（仮にV_Z V）の特性を持つものと考えてください．

S_1～S_3のスイッチと出力端子に得られる⊕電圧信号とは，ＯＲ回路を形成しています．いま，S_1をＯＮすると，……Ｅ＝６Ｖの⊕は，S_1──→D_1を通り，負荷R_1＝1kΩに順電流として………

$$I_{FD1} \doteqdot \frac{6\,\mathrm{V}}{1\,\mathrm{k\Omega}} = 6\,\mathrm{mA}$$

………が流れ，出力端子には，V_ZV が出力されます．

S_1をＯＮのまま，S_3をＯＮすると，Ａ点は約10Ｖが印加されるため，ダイオードD_1のカソード側電位は10Ｖ，アノード側電位は６Ｖとなり，D_1は直流逆電圧が，10Ｖ－６Ｖ＝４Ｖ印加されたことになり，負荷R_1には電源E_3から供給される約10Ｖから，D_3の順電流は………

$$I_{FD3} \doteqdot \frac{10\,\mathrm{V}}{1\,\mathrm{k\Omega}} = 10\,\mathrm{mA}$$

………となり，出力端子には，やはりV_ZVが出力されます．

このとき，D_1については直流逆電圧４Ｖですが，1S1553ダイオードをD_1に使ったとすると，表4.13から，直流逆電圧 V_R＝60Ｖ まで印加することができます．ここでは，直流逆電圧の説明のため，E_1～E_3の電源電圧を変えていますが，実際の論理回路では，等しい電圧で接点S_1～S_3に供給します．

また，上記で点Ａの電圧を約６Ｖ，約10Ｖとしたのは，前項でお話ししましたように，わずかな順電圧降下があるためで，もし，D_1～D_3が1S1553であるとすれば，図4.86の順特性から………

I_F＝6mA　　のとき　　V_F＝0.68Ｖ

I_F＝10mA　のとき　　V_F＝0.7Ｖ

………の電圧が降下しますので，Ａ点は，5.32Ｖ，9.3Ｖとなります．

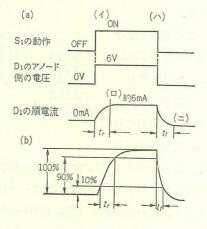
また，Ａ点が5.32Ｖ，9.3Ｖとなれば，R_1の負荷電流は，5.32mA，9.3mAとなり，図4.86から，さらにV_F 値が違ってきます．

正しくは，順方向特性図上に，負荷1kΩの負荷曲線を描き，1S1553 の順方向特性曲線との交点が動作している順電流となります．

この特性曲線との交点を動作点ともいいます．

さて，図4.88のS_1のスイッチがＯＮおよびＯＦＦされたときから，ダイオードD_1に流れる電流の変化をシンクロスコープを使って，掃引時間を早くして観察しますと，図4.89（ａ）のようになります．

▼図4.89　ダイオードに流れる電流変化

(イ)の時点でスイッチS_1がＯＮされると，電流が約６ｍＡに到達するには，(イ)──→(ロ)の遅れがあり，また，(ハ)でS_1をOFFしたときから，順電流が0ｍＡにもどるまでにも，(ハ)──→(ニ)の遅れがあります．

ＯＮのときの立上り遅れ時間……………………………………t_r

OFFのときの立下り遅れ時間（逆回復時間）……………t_f

………と呼んでいますが，厳密には，図4.89（ｂ）の立上り電流値を100％とするとき，その10％から90％までの時間と定めています．

この t_r，または t_f 時間の短いダイオードが時間の短いパルス信号を伝達するのに適していて，普通，プレーナ型ダイオード，またはエピタキシャルプレーナ型ダイオードが使われます．

このことから，ダイオードの t_r+t_f 時間より短いパルス信号は，正しく信号が伝達できないことも推測できますので，論理回路の応答速度が定まってきます．

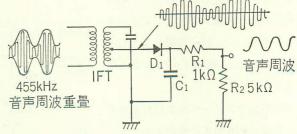
■Ｃ　検波用

次のページの図4.90は，ラジオの検波用回路の一例です．

中間周波トランスの一次側には，音声周波が455kHzの高周波に重畳されて図のように，入力信号として与えられると，二次側には同じ波形の信号が誘起されダイオードのアノードに接続された中間タップには，通常ｍＶオーダの微

小電圧が取り出せます．

▼図4.90　ダイオードの検波用回路

この高周波信号をダイオードD_1によって整流することを検波といいますが，高周波に対し，抵抗R_1に比較し，コンデンサーC_1が非常に低い抵抗であるように選びますと，455kHzの信号は，コンデンサーC_1を通してアース側に流れ，高周波信号のピーク電圧に相当する，音声周波電圧（通常40Hz～20kHzの低周波）にとっては，C_1がかなり大きい抵抗となって，抵抗R_1を通して音声周波電圧が取り出せます．

ここで，C_1を455kHzに対して，$R_1=1k\Omega$の1/100，つまり10Ωに選ぶとすれば………

$$10=\frac{1}{2\pi fc} \quad \therefore \quad c=\frac{1}{10\times2\times3.14\times455\times10^3}$$
$$\fallingdotseq 0.06\times10^{-6}\ \ F=0.06\mu F$$

………となり，$C_1=0.1\mu F$を使えば，高声周波数に対しては………

$$Z(20kHz)=\frac{1}{2\pi fc}=\frac{1}{2\times3.14\times20\times10^3\times0.1\times10^{-6}}\fallingdotseq 80\Omega$$

………となります．

このような検波回路に使用されるダイオードD_1は，455kHzに対して検波する能率がよく，≪論理用ダイオード≫の項でも述べましたが，正弦波に対してもt_r，t_fの時間の短いダイオードが必要になります．

一般には，ゲルマニウムのポイントコンタクト型ダイオードが使われます．

■D　サージ吸収用

図4.91は，サージ吸収用の回路ですが，スイッチ(SW_1)をONしている定常状態のときには，直流電源＋12Vから直流用リレーコイルに定格電流の30mA

が流れています.

また，逆方向に取り付けられたダイオードD_1には，わずかな逆電流が流れています.

したがって，このダイオードは何の有意義な働きもしていませんが，SW_1をOFFにするとき，リレーのコイルによって高い逆電圧が誘起されますと，ダイオードD_1に順方向に，この誘起電圧が印加されるため，サージ電圧を吸収します.

では，図4.92によって，この現象を観察してみましょう.

SW_1をONすると(イ)においては，コイルに瞬間定格電流30mAの数倍～10数倍の電流が流れますが，すぐ定格電流にもどり，リレーが動作します.

そして，SW_1を(ロ)の時点でOFFしますと，リレーのコイルの電流が0にもどるとき，コイルの両端には，図4.92(c)で示される破線の－数10Vが誘起されます〔図4.91の(－),(＋)方向〕.

この逆誘起電圧(サージ電圧)がSW_1の接点にアークを発生したり，SW_1を半導体スイッチング回路としているときには，ノイズとして誤動作したりします.

このため，ダイオードD_1を取り付け

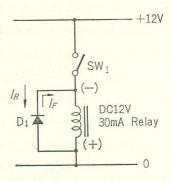
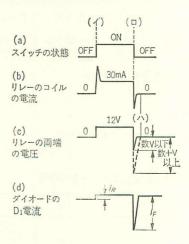
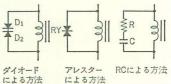
▼図4.91　サージ吸収用の回路

▼図4.92　サージ吸収の動作と方法

(f) 交流用ソレノイドに対するサージ吸収

れば，この逆誘起電圧に対しダイオードD_1は順方向特性として働きます．

図4.92（e）に示す回路の中で，I_Fの電流が流れ，リレー両端の逆誘起電圧はダイオードD_1の順方向特性によるV_F値まで（図4.92(c)の実線で示される，一数Vにまで）この逆誘起電圧を低下させ，ノイズ信号の発生を防ぎます．

ダイオードの定格は，リレーの種類，つまり，逆誘起電圧の発生する程度によって定めるとよいのですが，この特性はリレーの定格に通常表示されていないため，一般に小型のリレーに対しては，定格電圧の2～3倍の逆電圧を持ち平均順電流100mA程度のシリコンダイオードを使います．

なお，交流用リレー，またはソレノイドに対しては，必ず逆誘起電圧を発生しますので，ダイオードの両方向を向い合せて，図4.92（f）のように使用したり，これと同じ特性を持つアレスターか，または抵抗Rとコンデンサ－Cを直列に接続した商品，サージケンチャー（サージ電圧吸収素子）を使用します．

4.2　定電圧ダイオード

▶図4.93

▼表4.15　定電圧ダイオードの分類

分　類	外　観	用　途
一般用 定電圧 ダイオード	4.2　26　26　1.9φ　0.5φ　0.5φ	定電圧電源用 パルス波形整形回路
電力型 定電圧 ダイオード	10φ　1φ　7φ　1φ　30　7　30	定電圧電源用 比較的電源の 大きい回路
温度保証型 定電圧 ダイオード	6.2φ　1.5φ　0.5φ　35　35　4.5	電圧標準として標準電池のかわりに用いる（定電圧電源） 各種計測機器メーター保護用

定電圧ダイオードも，順方向特性は一般ダイオードと同じですが，逆方向電圧に対し，降服電圧（以下ツェナー電圧V_Zという）近辺において，逆電流(ツェナー電流I_Z）による破壊電流までの電流の幅が一般用ダイオードより広く，定電圧放電管と同様に次のような用途があります．

（i）定電圧回路

（ii）パルス波形整形回路

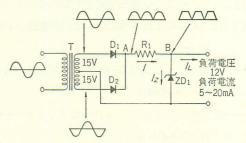
（iii）メーター保護用

定電圧ダイオードのシンボルは，図4.93のように示し，素子の許容電力損失の大きさで分類すれば，表4.15のようになります．

では，用途例を追いながら，特性と働き方について調べてみましょう．

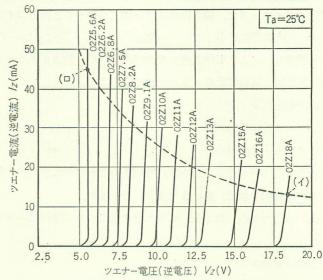
■A　定電圧の回路

▼図4.94　定電圧回路

図4.94の回路において，トランスTの二次側から，巻線の両端の中点を引き出し，この中点と巻線の両端に接続されたダイオードD_1，D_2のカソードを共通にすると，各点での電圧波形は図のように両波整流されます．

この両波整流されたA点での波形を脈流ともいいますが，A点は抵抗R_1を通して，ツェナーダイオードZD_1のカソードに接続され，ZD_1の両端が出力端子としてあります．

いま，出力端子は負荷に接続されていて，負荷は一定電圧12Vを必要とし，なおかつ負荷は変動して，12Vの一定電圧が与えられていても負荷電流が5mA～20mAの間を変化するとすれば，ツェナーダイオードZD_1はどのような特性を必要とするかを考えてみましょう．

点Aの電圧は，トランス二次側の15Vが供給されていて，ダイオードD_1，D_2

▶図4.95 ツエナーダイオードの逆電圧特性

の順電圧降下はなく，負荷電流を十分とっても，A点での電圧は変動しないと仮定します．そこで定電圧放電管の動作と同じ考え方で，抵抗 R_1 に流れる電流（I）は，ZD_1 に流れる電流(I_Z)と負荷電流(I_L)の和………

$$I=I_Z+I_L$$

………であり，もし負荷に一定電圧が印加されるには，

$$I_L=5\sim20\text{mA}$$

………変動するとすれば，I_Z は少なくとも………

$$I_Z=15\sim0\text{mA}$$

………だけ変化し，I_Z+I_L を一定に保たねばなりません．

ツェナーダイオードの逆電圧特性を図4.95に示してありますが，この特性グラフは，V_Z 電圧の各種のダイオードに対する逆特性表で，02Z18Aは，$V_Z\fallingdotseq$ 18Vのダイオードであることを示しています．

また，破線は許容される最大値I_Zで，図4.95に分類された外形によって定められる放熱特性から，接合部温度の限度に影響を与える許容電力損失………

$$P=I_Z\times V_Z=一定$$

………の曲線です．

特性曲線から02Z18AのI_Z限界点(イ)および02Z5.6Aの限界点(ロ)についてPを計算しますと………

P(イ)=13mA×18.5V=240.5mW

P(ロ)=44mA× 5.6V=246.4mW

………であり，この種類の定電圧ダイオードの最大定格は，表4.16に示してあります.

▼表4.16　最大定格（周囲温度25°C）

項　　目	記号	定格	単位
許容損失	P	250	mW
せん頭許容損失*	P_{peak}	1250	mW
接合部温度	T_j	175	°C

* 1sec のパルスサージ電力

これより，許容損失は250mWであることが判ります.

表4.16において，せん頭許容損失とは，1秒間のパルス電圧が印加されたときには，1250mWまで耐え得ることを示しています.

さて，話しをもとにもどしますと，図4.95のV_Z—I_Z特性から，いずれの定電圧ダイオードも，I_Z=0〜2mAの範囲はツェナー電圧特性を持たないことが判りますので，I_Zの変化範囲0〜15mAは少なくともI_Z=2〜17mAの範囲で動作させないと，一定電圧は保てません．図4.95より………

$$I_Z=2\sim17\text{mA}$$

$$V_Z=12\text{V}$$

………の定電圧ダイオードは，02Z12Aが使われます.

もし，負荷の変動電流がさらに大きく，ツエナー電圧V_Zのダイオードで，許容最大値I_Zが大きいことを必要とされるときには，許容損失の大きな電力型定電圧ダイオードから選ぶことができます.

一般に，最大定格として許容損失は，この250mW型以外に，1W，10W型があります．では，抵抗R_1の定格を計算してみましょう.

$$I=I_Z+I_L=22\text{mA}=\text{一定}$$

………とすると

$$I\cdot R_1=15\text{V}-12\text{V}=3\text{V}\qquad R_1=\frac{3\text{V}}{22\text{mA}}\fallingdotseq136\Omega$$

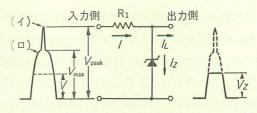
………抵抗を136Ωにすれば，抵抗の消費電力P_Rは………

$$P_R=\frac{V^2}{R}=\frac{3^2}{136\Omega}=0.07W$$

………で，安全係数≒7とすれば，1/2Wでよいことになります．

この抵抗には，ソリッド抵抗，または金属被膜抵抗が選ばれます．

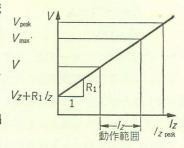
■B　パルス波形整形回路

回路の接続は，定電圧回路と全く同じですが，使用される回路が，パルス信号伝達回路の入力または出力部において，前項で述べたダイオードのパルス電圧印加時の立上り遅れ時間による波形の崩れ〔図4.89(a)〕とか，ノイズによるピーク電圧の発生〔図4.96(イ)〕を矩形波に整形し，出力側に接続される後段の回路へ，これらの不整信号を伝達しないために使われます．

▼図4.96　パルス波形整形回路

▼図4.97　I_Z—V 特性

図4.96において，入力信号の電圧が……

$$V=I\cdot R_1+V_Z=(I_Z+I_L)R_1+V_Z$$

………を越える電圧には，I_Zが増加し，出力電圧 V_Z に一定の電圧が取り出せます．

出力側の負荷回路において，一定の電圧V_Zにより負荷電流I_Lが一定であるとすれば………

$$V=I_Z\cdot R_1+(\text{一定})$$

………となります．

I_Z—V をx—y軸にとって，この直線を描きますと，図4.97のようになり，V—V_{max} を I_Z の動作範囲，つまり前項での02Z12Aを例にとって，2～20

mAの範囲とすれば，入力信号の$V—V_{max}$がI_Zの増加となって流れますし，Vpeakが1秒以下のパルスであれば………

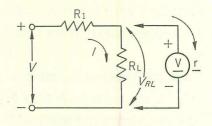
$$I_Z \text{ peak} \cdot V_Z = 1250\text{mW}$$

………までのピーク電圧が吸収できます．

■C　メーター保護用

メーター保護用に使われるダイオードを，定電圧ダイオードの分類に含めましたが，これは順方向の特性を利用します．

▼図4.98　電圧計による測定回路

しかし，考え方は定電圧ダイオードの逆特性のツエナー電圧と同じだと考えてください．

メーターは，電圧計か電流計かであると，すでに述べましたが，電圧計は，電圧を測定する目的上，測定個所に接続したとき，電圧計内部へ流れる電流は少なくしなければなりません．

なぜなら，図4.98において，負荷R_Lの両端の電圧V_{RL}を，電圧計で測定しようとするとき，この電圧計の内部抵抗を$\underline{r}$($\gg R_L$)とすれば，電圧計内部へは，ほぼ$V_{RL}/\underline{r}$だけ電流が流れ，$R_1 \cdot V_{RL}/\underline{r}$だけ電圧は低く指示されてしまいます．また，電圧$V$の電圧発生源のレギュレーション(一定電圧$V$を発生しているとき，電流がどのくらいまでとれるかの電源の安定度）が，もし$V_{RL}/\underline{r}$の電流増加でくずれるとすれば，さらに低い電圧を指示します．

この電圧計に流れる電流による電圧降下$R_1 \cdot V_{RL}/\underline{r}$からわかりますように，電圧計の内部抵抗$\underline{r}$は，大きくなければなりません．

ところで，テスターなどはシンクロスコープなどに比較して，この内部抵抗が割に低く，テスターを使うときはこの点を注意して回路電圧を測定しなければなりません．

一般にメーター測定器類には，この内部抵抗に相当する値として，入力イン

ピーダンスとして，Ω単位で規定されているため，逆に，この真値を指示値から換算することができます．

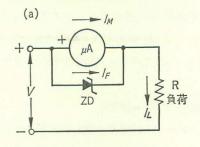
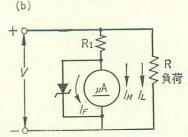
さて，負荷 R_L の取り扱いを誤って負荷 R_L をショートさせたとき，V_{RL} の指示値は低下しますが，負荷がオープンになっても，電源電圧以上にはならず，電圧計の破損は少ないため，このメーター保護は電圧計にはあまり使われません．

▼図4.99　電流計保護用回路

(a)

(b)

では，電流計を接続した，図4.99の(a)，(b)について考えてみましょう．

(a)図は負荷電流 I_L を電流計(μA)で測定する回路で，(b)図は負荷印加電圧 V_R，つまりここでは電源電圧 V を測定するために，高抵抗 R_1 を通して流れる微小電流 I_M を"電流計を使って電圧測定をする"回路です．

すでにお判りと思いますが，(b)図では電源のレギュレーションが悪くなるほど，電流計へ流す電流 I_M を大きくしてはいけません．つまり，R_1 は負荷Rに対し十分大きい値の抵抗でなくてはなりません．

さて，図4.99(a)において，電流計の内部抵抗を $\underline{r}$ としてメーター保護用ダイオードが接続されていないとき，電流値は $V/(\underline{r}+\mathrm{R})$ となります．

しかし実際に測定したい電流は $V/\mathrm{R}=I_L$ ですから，電流計を挿入したことによる差（誤差）は………

$$I_L-\frac{V}{\underline{r}+\mathrm{R}}=\frac{V}{\mathrm{R}\left(1+\dfrac{\mathrm{R}}{\underline{r}}\right)}$$

………となり，$\underline{r}$ が小さいほど誤差は0に近くなります．

このため，電流計は非常に小さい内部抵抗で作られています．

負荷抵抗が減少し，電流計のフルスケール表示値の２～３倍以上の過電流が流れると，指針を傷め，さらに電流が増せば，電流計内部の抵抗は焼損し，ついには破損してしまいます．

そこで，ある程度までの過電流に対して，メーターの破損を防ぐために，メーター保護用ダイオードを，図4.99(ａ)(ｂ)に示される方向に取り付けます．

では，図4.99(ａ)によって，その取り付け効果を調べてみましょう．

(μA)が 100μA のメーターで内部抵抗2kΩのメーターと仮定し，メーター保護用ダイオード1S144を順方向に取り付けたとします．

1S144 の順方向特性を図4.100に示しましたが，これによると順電圧が0.32V（320mV）以上になると電流は流れ始めますが，それ以下ではほとんど流れず，電流計側に流れることになり，ほぼ正しい電流を（100μAに比べ0.1μAの誤差）で指示します．

いま，電流計の両端が 320mV になるときの電流計へ流れる電流値を計算しますと，内部抵抗2kΩですから………

$$I=\frac{320\text{mV}}{2\text{k}\Omega}=160\mu\text{A}$$

………となりますので，160μA以上の電流が流れ始めると，メーター保護用ダイオード側への電流が，順特性にそって増え始めます．

例えばメーター保護用ダイオードに流れる電流値（I_F）と，メーターに流れる電流値（I_M）の関係を，図4.100から追ってみますと，動作点(1)においては………

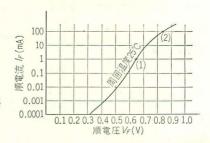
$$I_F=1\text{mA}\longrightarrow V_F=650\text{mV}$$

………であり，

$$I_M=\frac{650\text{mV}}{2\text{k}\Omega}=325\mu\text{A}$$

………でメーター定格電流の３倍になります．

また，動作点(2)においては………

▼図4.100　1S144の順特性

$$I_F=100\text{mA} \longrightarrow V_F=850\text{mV}$$

$$I_M=\frac{850\text{mV}}{2\text{k}\Omega}=425\mu\text{A}$$

………でメーター定格電流の4倍の電流でとどまっていますが，負荷に流れる電流は100μAの定格値に比べ

(1)の点で　$\dfrac{I_M+I_F}{100\mu\text{A}}=\dfrac{1325\mu\text{A}}{100\mu\text{A}}\fallingdotseq 13$倍

(2)の点で　$\dfrac{I_M+I_F}{100\mu\text{A}}=\dfrac{100425\mu\text{A}}{100\mu\text{A}}\fallingdotseq 1000$倍

………について保護されていることになります．

4.3　トリガーダイオード（DIAC）

▶図4.101　DIAC

シンボル──→

▼表4.17　トリガーダイオードの分類

分　類	外　観	用　途
シリコン プレーナー型	0.5φ　26　4.2　26　1.9φ	パルス発生用

トリガーダイオードは，主に交流回路に使用されるSCR，TRIACのトリガー（Trigger 引金を引く──点弧）用のパルス発生器として使われます．

シンボルは，図4.101のように示し，極性はなく，ダイオードを両向きに接続したときに似た電気特性を示します．

▼表4.18　最大定格（周囲温度25°C）

項　目	記号	最大	単位
せん頭電流	I_M	2	A
接合部温度（最高）	T_j	125	°C

▼表4.19　電気的特性（接合部温度25°C）

項　目	記号	条　件	特性値	単位
ブレーク・オーバ電圧	b_V	―	28～42	V
ブレーク・オーバ電流	b_I	$R_L=20\Omega$	0.2	mA

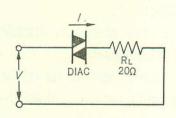
電気特性を，表4.19，図4.102に，その最大定格を表4.18に示しました．

素子は，表4.17に示すように，小型ですが，ブレークオーバ後のせん頭電流は，50Hzで，繰り返えし2Aのパルス電流を流すことができます．

▼図4.102　電流・電圧特性

表4.19の電気特性のブレークオーバ電流(b_I)の条件の項に，R_L＝20Ωと記入されていますが，これを図4.103の回路によって説明します．

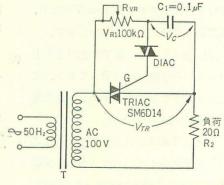
▼図4.103　DIACの特性測定回路

回路において，トリガーダイオードに20Ωの抵抗を直列に接続した場合，電圧Vを上昇させ，ブレークオーバするときに流れる電流が0.2mAであることを意味しています．さらに，トリガーダイオードが接続されるSCR，TRIACのゲート電流がこの値（0.2mA）では，そのSCRやTRIACが点弧されない特性を持つものに使いなさい，ということを示しています．

▼図4.104　パルス発生回路例

A　パルス発生回路

図4.104の回路例において，負荷に印加される電圧を，位相制御させるために使われるTRIACの例として，ここではSM6D14を回路に示してあります．

このTRIACの最大定格値は耐電圧200V，実効電流6Aです．

トリガー（点弧）させるのに必要なトリガー電圧は………

$V_{GT}=3\mathrm{V_{max}}$

………で，トリガーゲート電流は………

$I_{GT}=75\mathrm{mA_{max}}$

………です．この仕様については，SCRの項で述べることにしますが，ここでは TRIAC のゲートGに，V_{GT} 電圧が印加され，I_{GT} 電流が流れて，はじめて両端に供給された電圧は導通し，負荷に電圧が印加されると考えてください．

さて，図4.104 における電源電圧の変化は，TRIACが点弧しないとすれば，トランスTの二次側に誘起する電圧と同じ位相で，図4.105（a）の V_{TR} のように変化します．

このV_{TR}の電圧変化は，可変抵抗$\mathrm{VR_1}$の実質的な抵抗 $\mathrm{R_{VR}}$ を通してコンデンサー$\mathrm{C_1}$に充電されます．

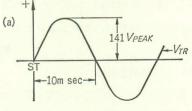
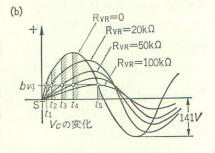
ところで，抵抗$\mathrm{R_{VR}}$の値の違いによって，コンデンサー$\mathrm{C_1}$の両端電圧V_Cは，図4.105（b）のように，位相とピーク電圧が変化します．

したがって，各 $\mathrm{R_{VR}}$ の値のときの電圧変化が，ブレークオーバ電圧($b\mathrm{v_1}$) に達するそれぞれの時間，t_1～t_5 にトリガーダイオードはブレークオーバし，TRIAC のゲート(G)にパルス電流を流します．

それにより，TRIAC は点弧し，V_{TR} は順電圧に相当する電圧≒0Vになり，負荷$\mathrm{R_2}=20\Omega$ に電圧が印加します．

図4.105（b）は，電圧変化がＳＴ点の０Ｖから⊕側へ図を示してあり，位相が反転する⊖方向の半サイクルの範囲までV_C を描きました．

これは TRIAC が点弧しないときの位相関係を示すための図であり，実際には，t_1～t_5の時点で点弧された後は，

▼図4.105　**DIACのブレークオーバの模様**

V_C≒0となりますので，⊖側へもST点から⊕側へ電圧が上昇するのと同じ半サイクルが⊖側へも続き，TRIAC は⊕⊖両側で，一定の位相で点弧され続けます．次式のTを時定数と呼び，図4•104では………

$$T = R_{VR} \cdot C_1 = 100\text{k}\Omega \times 0.1\mu\text{F} = 10\text{mS}$$

………で，100kΩの可変抵抗で，ほぼ 0〜180°（0〜10mS）の範囲の電圧位相制御ができます．

4.4 発光ダイオード

▶図4.106

シンボル――→

D

アノード　カソード

表示ランプとして，白熱電球，またはネオンランプに代用できる発光ダイオードは順方向に電圧を印加しますと，レンズ面から接合面で発光している光を照射します．

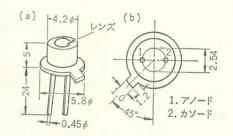
シンボルを 図4.106 に，外形は図4.107 に示しましたが，素子をリードの側からみますと，アノード，カソードは(b)図のように，リードの位置を示しています．

最大定格は，表4.20 のように，順電流が35mAと小さく，逆電圧も3Vと低いため，次の用途に利用されています．

（i）表示用光源

（ii）論理回路点検用

（iii）光電変換器用光源

▼図4.107 発光ダイオードの外形

▼表4.20 最大定格（周囲温度25°C）

項目	記号	定格	単位
直流順電流	I_F	35	mA
直流逆電圧	V_R	3	V
許容損失	P	100	mW
接合部温度	T_j	100	°C

■A　表示用光源

▼図4.108　表示用回路

図4.108 のように，直流電源12V に，直列に抵抗R_1=400Ω をつなぎ，最大定格の順電流I_F=35mA以下におさえると発光します.

表4.21 の動作特性から，順電圧は，順電流I_F=30mAのとき，V_F=2.8V_{max}であり，逆電流は，逆電圧V_R=3Vのとき，0.5μA と，完全なダイオード特性を示します.

輝度は順電流I_F=15mAのときの輝度75fL（foot Lambert フートランバートという輝度の単位）で，ほぼ，日常使っている螢光灯の1/2〜1/3位の輝度に相当します.

表4.21　電気的特性（周囲温度25°C）

項　目	記号	条　　件	最大	単位
順電圧	V_F	I_F=30mA	2.8	V
逆電流	I_R	V_R=3V	0.5	μA
輝　度	B	I_F=15mA	75	fL

■B　論理回路点検用

トランジスタ，ＩＣなどで回路が構成される論理回路は，その回路が外部から，確実に動作しているかどうかは，計測器，例えば，シンクロスコープなどで波形の観察をしなければなりませんでした.

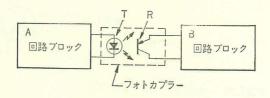
しかし，発光ダイオードのように，小さい電流で発光表示できる素子の出現により，回路の途中の段階で発光ダイオードの点灯で動作の確認ができるようになりました.

トランジスタの論理回路の場合は，点灯用に回路を構成しないで，負荷として回路中に追加しても，論理回路の信号伝達に支障なく，点検が容易になります.

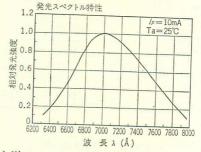
■C　光電変換器用光源

光電変換器用光源としては，発光素子（T）と光電変換素子（R）を暗室内に組み込んだ，フォトカプラー（Photo Coupler）があります.

図4.109のA，B2つの回路ブロックにおいて，この2つの回路ブロックは，直接には電気回路とし接続することがむづかしい場合などに，回路的には独立した信号伝達が，フォトカプラーを利用することによって可能になります．

▼図4.109　フォットカプラーの利用例

▼図4.110　GaP 発光素子の発光スペクトル

応用は将来，各種のものが出てくると思われますが，参考例を次に上げておきます．

(i) A回路ブロックが，高電圧回路であるとき，高電圧回路内で低電流化して発光させ，検電器として，B回路ブロックに信号を送る．

(ii) A回路ブロックにパルス信号発生器を設けパルス信号の伝達を行なう．

(iii) フォトカプラーのT，R間に，スリットを有する円板などを設け，円板の回転変位，回転数の測定をB回路ブロックで行なう．

(iv) 発光部から受光部までの光の散乱などによる減光量を測定して，雰囲気または環境状態の変化を検出する．

例えば，発煙検出とか，スモッグ検出など．

図4.110は，GaP（ガリウム燐）発光素子の発光スペクトルの参考データーを示してありますが，7000Å（赤色）を中心にして輝度分布しています．

機械装置には，いろいろ利用される個所が多いと思います．

4.5　一般用トランジスタ

▼表4.22　一般用トランジスタの分類

分類	外形	用途
エポキシモールド型 プラスチックモールド型	図4・112(a)シリコン素子	スイッチング,一般増巾,発振,変調,電力増巾,高周波回路用
メタルシール型 (TO−72)	(b)シリコン素子,ゲルマニウム素子	高周波増巾,高速スイッチング,回路用
メタルシール型 (TO−39, TO−5)	(c)シリコン素子,ゲルマニウム素子	高周波増巾,スイッチング,中電力増巾(1W以下),回路用
メタルシール型 (TO−66)	(d)シリコン素子,ゲルマニウム素子	電力増巾,スイッチング,回路用
メタルシール型 (TO−3)	(e)シリコン素子,ゲルマニウム素子 100W程度まで	大電力増巾,スイッチング(100W程度まで),回路用
メタルシール型 (TO−1)	(f)ゲルマニウム素子	低周波増巾,回路用

▼図4.112　一般用トランジスタの外形

トランジスタは，電極が3つあり，また，PNP型とNPN型とがありますが，そのシンボルを，図4.111 に示します.

エミッタの矢印によって，電流の流れる方向を表わして区別しています.

トランジスタを分類しますと，その用途によって多くの分類法がありますが外形によって分類すると，表4.22のようになります．また，その外形を 図4.112に示しました.

一般的にいえることは，外形の小さいもの程，高周波回路用に，大きいものは，高電圧，大電流回路用に用いられます.

表4.22 によって用途を分類してみますと，次のものに利用されます.

(i) 増幅用

(ii) 発振用

(iii) スイッチング用

(iv) 変調回路用

ここで(iv)の変調回路は，機械のエレクトロニクスでは，当面することは稀ですから，前3項について説明します.

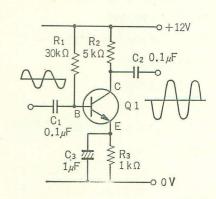
■A　増幅用

トランジスタがエレクトロニクスの分野で広く用いられる理由は，増幅作用があるからです.

図4.113 は，交流電圧の増幅回路例ですが，入力に小さな電圧信号を加えますと，出力に大きな電圧変化となって表われます.

トランジスタの回路には，直流電圧(例えば 12V) を印加し，あらかじめ直流電流を流しておきます.

これを **バイアス** と呼びますが，トラ

▼図4.113　トランジスタの増幅回路

ンジスタの各電極には，直流電流が流れていて，この電流が入力交流電圧により変化し，出力に増幅されて出てきます．

▼図4.114　トランジスタの発振用回路

■B　発振用

トランジスタを用いて，正弦波の交流信号や，パルス信号の発生器として利用することがあります．

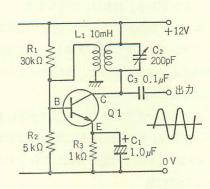



図4.114は，正弦波の発振器の例ですが，発振器は，このように入力がなく，出力だけがあります．

図において，コレクタには同調回路と呼ばれるコイルとコンデンサーの共振回路があり，この回路で発振周波数が決まります．

また，二次側のコイルに，電圧が誘起されて，トランジスタのベースに加わっています．この電圧を入力として増幅しますので，コレクタの電圧は，より大きくなり発振が持続します．

基本的には，トランジスタの増幅作用を利用しているといえます．

■C　スイッチング用

トランジスタの特性には………

（i）遮断領域

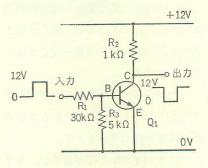
（ii）能動領域

（iii）飽和領域

………とがあり，増幅用には，能動領域が用いられます．

そして，他の2つの領域は，スイッチングとして用いることができます．

図4.115は，スイッチとしての動作

▼図4.115　トランジスタのスイッチング回路

を示す回路で，スイッチONを“1”(高電圧)，OFF を“0”(低電圧) に対応させます．

図のように，入力側には0Vから急に12Vに立上るような波形を加えます．

いま，入力0のときトランジスタは遮断領域にあり，コレクタ電流は流れません．したがって，出力には1kΩ を通して，ほぼ12Vの電圧が現われます．

次に，入力に12Vを加えますと，トランジスタは飽和状態になり，コレクタ電流が流れます．

しかし，1kΩ で制限されますから，ほぼ12mA のコレクタ電流が流れます．そして，コレクタ，エミッタ間の電圧は，飽和電圧〔V_{CE} (sat)〕といって，普通0.5V位いの低い電圧になります．

これがスイッチ動作の基本です．

■D　電流増幅率とは？

トランジスタの性能を表わす最も一般的な定数として，電流増幅率があります．

トランジスタは，電流増幅の作用があるといわれ，真空管の電圧増幅と比較されることがあります．

結果的には，電圧の増幅となって現われるわけですが，考え方が電流を基準にした方が判り易いからといえます．

この電流増幅率には，直流電流増幅率 (h_{FE} で表わす)と交流電流増幅率 (h_{fe}) があります．

いずれも，エミッタを基準にした場合のことをいいますが，図4.116 に示すように，それぞれの値は式で示すことができます．

例えば，(b)図の交流の場合は，直流電流に交流電流が重畳して流れると考えます．

▼図4.116

(a)

I_C コレクタ電流

ベース電流 I_B

B　C　E

I_E エミッタ電流

$h_{FE}=\frac{I_C}{I_B}$

$I_E=I_B+I_C$

(b)

I_C $\underset{\sim}{i_c}$ 重畳して流れる

I_B $\underset{\sim}{i_b}$

B　C　E

I_E $\underset{\sim}{i_e}$　$h_{fe}=\frac{i_c}{i_b}$

しかし，ベース電流が直流電流の場合でもわずかに上下に変化したときにはコレクタの電流変化は，交流増幅率 h_{fe} によって変化すると考えてよいわけです．h_{fe} は，入力の周波数により変化し，周波数が高くなって，h_{fe} が1になると，増幅作用がなくなります．

実際の回路での区別は，前述の増幅回路（図 4.113）において，トランジスタが能動領域で動作するために必要なバイアス電圧や，抵抗の決定には，h_{FE} が，また，どれだけ交流信号が増幅されるかというときには，h_{fe} が必要になります．

▼図4.117　直流電流増幅回路

それでは，h_{FE} が回路においてどのような効果を与えるか，調べてみましょう．

図4.117 において，V_{R1} を変化させたとき，出力電圧がどのように変化するかを考えます．

トランジスタは2SC370を用いますが，この最大定格値と電気的特性の一部を，表4.23，表4.24 に示してあります．

最大定格は………

$V_{CEO}=30V$

………で，コレクタとエミッタ間に，これ以上の電圧を印加してはなりません．

$I_C=100mA$ はコレクタに流す最大電流を示します．

2SC370の h_{FE} は，25～50ですが，素子によって，これだけ h_{FE} の品種段階があり

▼表4.23　最大定格（周囲温度25°C）

項　　　目	記　号	定格	単位
コレクタ・ベース間電圧	V_{CBO}	35	V
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CEO}	30	V
エミッタ・ベース間電圧	V_{EBO}	4	V
コ　レ　ク　タ　電　流	I_C	100	mA
接　合　部　温　度	T_j	125	°C

▼表4.24　電気的特性（周囲温度25°C）

項　　目	記　号	条　件	最大	単位
コレクタ・エミッタ間飽和電圧	$V_{CE}(sat)$	$I_C=10mA$ $I_B=1mA$	0.4	V
ベース・エミッタ間飽和電圧	$V_{BE}(sat)$	$I_C=10mA$ $I_B=1mA$	1.0	V

ますので，ここでは一例として，$h_{FE}=25$の素子を選んだとします．

図4.117より，ベースの抵抗（VR_1+R_1）は，100kΩ(1)〜200kΩ(2)まで変化しますので，それぞれ，(1)と(2)のときの状態を考えてみます．

ベース電流 I_B は，仮にV_{BE}を表4・24から$V_{BE}(\mathrm{sat})=1.0\mathrm{V}$とすれば………

(1)のとき（100kΩ）：$I_{B1}\fallingdotseq\dfrac{12\mathrm{V}-V_{BE}}{100\mathrm{k}\Omega}=\dfrac{11\mathrm{V}}{100\mathrm{k}\Omega}=110\mu\mathrm{A}$

(2)のとき（200kΩ）：$I_{B2}\fallingdotseq\dfrac{12\mathrm{V}-V_{BE}}{200\mathrm{k}\Omega}=\dfrac{11\mathrm{V}}{200\mathrm{k}\Omega}=55\mu\mathrm{A}$

コレクタ電流 I_C は………

$h_{FE}=\dfrac{I_C}{I_B}$　より

(1)のとき：$I_{C1}=I_{B1}\times h_{FE}=110\mu\mathrm{A}\times25=2.75\mathrm{mA}$

(2)のとき：$I_{C2}=I_{B2}\times h_{FE}=55\mu\mathrm{A}\times25\fallingdotseq1.38\mathrm{mA}$

出力電圧 V_0 は………

(1)のとき：$V_0=12\mathrm{V}-R_2\times I_{C1}$
$=12\mathrm{V}-3\mathrm{k}\Omega\times2.75\mathrm{mA}$
$=12-8.25=3.75\mathrm{V}$

(2)のとき：$V_0=12\mathrm{V}-R_2\times I_{C2}$
$=12\mathrm{V}-3\mathrm{k}\Omega\times1.38\mathrm{mA}$
$=12-4.14=7.86\mathrm{V}$

▼図4.118　トランジスタ出力電圧

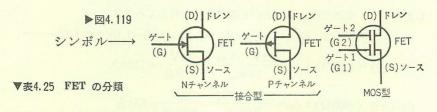
………となります．

したがって，出力電圧は，図4.118のように………

3.75V〜7.86V

………と変化することになります．

4.6 FET (Field Effect Transistor——電界効果トランジスタ)

▼表4.25 FETの分類

分類	外形	用途
接合型		一般増巾, スイッチング FETチョッパー
MOS型		高周波増巾

ＦＥＴは構造上，大きく分けて，接合型とＭＯＳ型があります．

接合型の場合は，電流の流れる部分がＰ型とＮ型の二種類あって，これを区別して，Ｐチャンネル，Ｎチャンネルと呼んでいます．

これは，トランジスタのPNP，NPN型と同じような分類の仕方で，電気的には，電流の流れる方向が逆になります．

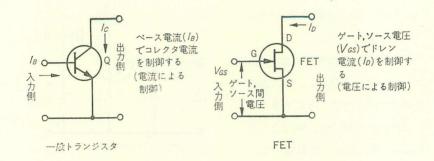
図4.119は，ＦＥＴのシンボルを表わしたもので，表4.25は，ＦＥＴを接合型，ＭＯＳ型に分類したものです．

■A FET の用途

FET は，一般用トランジスタの用途とほとんど同様に用いられます．

トランジスタとは回路設計上，多少異なりますが，FET は小電力用または高周波用だけしかありません．

一般用トランジスタに比較しますと，多くの利点を持っていますが，制御方

▼図4.120　一般用トランジスタと FET との制御方法の比較

法が，特性上の異なる点としてあります．

一般用トランジスタと FET の制御方法を，図4.120 で比較してみてください．FET の制御は，真空管とよく似ているのがお判りだと思います．

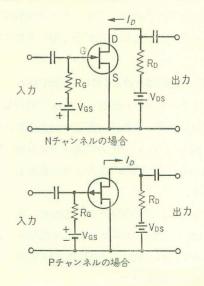
■B　FET のバイアスのかけ方

FET を増幅用に用いるためには一般用トランジスタと同様に，バイアス電圧を印加し，正常に動作するよう，いろいろな定数を決める必要があります．

トランジスタのバイアスのかけ方の基本は，ベースを基準に，ベース・エミッタ間は順方向，ベース・コレクタ間は逆方向に電圧を印加することでした．

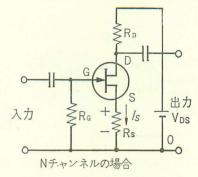
では，FET の場合は，どのようになるでしょうか．

図4.121 は，接合型 FETのNチ

▼図4.121　FET の基本的なバイアスのかけ方

ャンネルとPチャンネルの場合の基本的なバイアス印加法を示したものです．R_Gの回路には，ほとんど電流は流れません．

これはR_Gの抵抗を大変高くしてもよいことを意味し，入力抵抗を非常に高くすることができます．

また，この場合は，電源としてV_{DS}とV_{GS}の2つが必要です．

▼図4.122　電源1コによるバイアスのかけ方

普通R_Gは，500kΩ～1MΩ，R_Dは，10kΩ～50kΩ，V_{DS}は6V～12V，V_{GS}は0.5V～3Vくらいです．

また，電源を1コ用いる方法として，図4.122のような方法があります．

これは，ゲートとソース間には，ゲートに負の電圧を印加すればよいわけですが，図のように，ソースに抵抗R_Sを入れますと，流れる電流によって，電圧降下$I_S \times R_S$が起こり，ゲートバイアスとします．

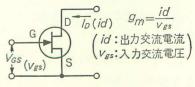
この電圧方向は，丁度，ゲートが負になる方向となります．

一般には，この方法が多く用いられています．

■C　増幅率はどのようにして表わすか？

トランジスタの場合は，h_{FE}で表わしましたが，FETの場合の定数は，g_mを用います．これは，相互コンダクタンスと呼ばれ，入力電圧（ゲート・ソース間電圧V_{gs}）と出力電流（ドレン電流i_d）の比で図4.123のように表わします．

さらに，その増幅度は，図4.121，図4.122の場合，ほぼ$g_m \times R_D$で表わされます．g_mの値は3000μ℧（3×10^{-3}℧モー）程度です．

▼図4.123　増幅率g_mの表わし方

■D　FET の動作特性とは？

FET 2SK 11 の電気特性を図4.124に示しますが，右側はドレン電圧 V_{DS} とドレン電流 I_D の関係を示し，V_{GS} が変ったとき，V_{DS} に対する I_D がどう変化するかを示しています．

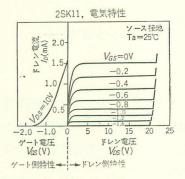
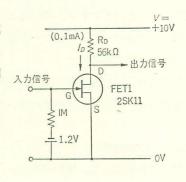
また，左側は，ゲート電圧によって，ドレン電流がどのように変化するかを示していますが，この場合は，ドレン電圧は10Vと決めて表わしてあります．

これらは，相互に関連がありますので1つのグラフに表示してあります．

例えば，設計の際，最初に，ドレン電流を 0.1mA と決めてしまったとすると，このときの V_{DS} はどれだけかをグラフより調べてみましょう．

グラフでは，V_{GS} が 0V（電圧を加えない）のときには，1.5mA の I_D が流れ，これ以上は流すことができないことを示しています．

▼図4.124　FET 2SK 11 の電気特性

▼図4.125　FET の回路例

さて，図4.125において，ゲート電圧 $V_{GS}=-1.2$V のとき，グラフより，ドレン電流 I_D は 0.1mA 流れることが判ります．

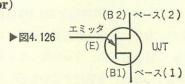
したがって，ドレン(D)・ソース(S)間電圧は $V_{DS}=V-I_D\times R_D$ ですから，

$$10\mathrm{V}-56\mathrm{k}\Omega\times0.1\mathrm{mA}=4.4\mathrm{V}$$

………となります．V_{GS} の値を変化させますと，出力電圧は変化します．また電圧増幅度は $g_m R_D$ より2SK11の g_m 値は，1000μ℧ ですから増幅度は次のようになります．

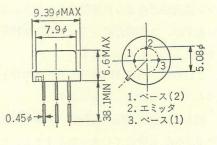
$$\text{増幅度}=56\mathrm{k}\Omega\times1000\mu℧=56(\text{倍})$$

4.7 UJT (Uni Junction Transistor)

シンボル⟶

▶図4.126

▼図4.127
UJT の外形

ＵＪＴはトランジスタの分類に所属するとはいえ，１つの接合面しか持たない，かなり特殊な素子といえます．

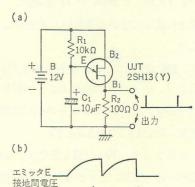
シンボルと外形は，図4.126，図4.127に示すとおりですが，呼び方として，ダブルベース・ダイオードといわれることもあります．

ＵＪＴは，一般のトランジスタやFET のように信号伝達回路に用いられることはなく，パルス発生回路に用いられます．

■A　パルス発生器

ＵＪＴを利用して，鋭いパルスの発生およびノコ歯状波の発生器が簡単に作れます．

図4.128（ａ）の回路において，直流電源＋12Ｖから，R_1の10kΩを通してコンデンサーC_1に充電が開始されますと，B_1—E 間電圧は，(ｂ)のように充電されます．

充電の速度は，R_1C_1の積によって決まり，この値が大きくなれば，

▼図4.128　パルス発生回路と波形

立上りが遅くなります．

いま，ＵＪＴ２ＳＨ13(Ｙ)の特性表を調べて η(スタンドオフ比)＝0.55～0.67，V_D＝0.7V（V_D は，25°Ｃのとき，ベース・エミッタ間接触電位で）と示されていたとしますと，V_{B1B2}＝12V のときに，V_{EB1} が………

$$V_{EB}=\eta V_{BB}+V_D=(0.55\sim0.67)\times12+0.7=7.3\sim8.8\text{V}$$

………になると，C_1の両端に充電された電荷は，$E\rightarrow B_1\rightarrow R_2$ を通して，急速に放電されます．このときの V_{EB1} 電圧（V_P）を**ピーク点電圧**といいますが，この放電により出力の端子には，図4.128（ｃ)図のパルスが発生します．

図4.123（ｃ)において，パルス間隔が70msと書かれていますが，これは……

$$T=0.69\times R_1C_1=0.69\times10\times10^3(\Omega)\times10\times10^{-6}(\text{F})\ \text{sec}$$
$$=0.69\times10^{-1}=0.069\ \text{sec}$$

………から求められ，このＴを**時定数**といいます．

(0.69は充電電圧の立上がりが曲線となるための係数)

■B　SCR トリガー用

図4.129 のような回路で，ＳＣＲを動作させるためのトリガー用として，ＵＪＴを利用することができます．

▼図4.129　SCR トリガー用回路

図において，スタートスイッチを押すと，一定時間後に，B_1端子にパルスが発生します．

これはＳＣＲをターンオンするだけのパルス出力ですが，ＳＣＲは動作して，負荷のリレーなどを動作させることができます．

また，リセットスイッチを押すと，元の状態にもどります．

■C　スタンドオフ比（η）とは？

ＵＪＴの構造は，前にも述べましたが，図4.130（ａ）のように抵抗を有する

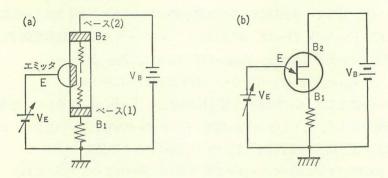
▼図4.130　UJT の構造と働き

棒の一点に，エミッタ接合がありますが，V_E が低いとき，E 点と接地点にはある電圧（V_B を分割した電圧）があって，エミッタの接合は逆方向になっています．

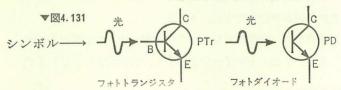
図4.130（b）の回路図において，V_E を上昇させていくと，この分割電圧と同電位を過ぎる頃に，急速に順方向にバイアスされて流れる点があります．

この電圧をピーク電圧 V_E と呼び，η は急速に電流が流れる点の電圧比を示したもので………

$$\eta=\frac{V_P-V_D}{V_{BB}}$$

………で表わされます．

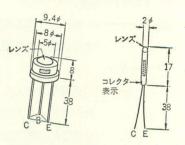
V_D はエミッタ接合の順方向電圧で，約0.7Vです．η は，0.5～0.7程度で，これは発振同期を決める上で重要な定数で，**スタンドオフ比**と呼びます．

4.8　フォトトランジスタ，フォトダイオード（Photo Transistor / Photo Diode）

▼図4.131

フォトトランジスタもフォトダイオードも，光のエネルギーにより動作するので，光学的検出を必要とする分野に広く利用されています．

ＰＮ接合だけのフォトダイオードに比べ，ベースを設けたフォトトランジスタは，光に対する感度がより優れているといえます．

図4.131，図4.132は，それぞれのシンボルと外形を，示したものです．

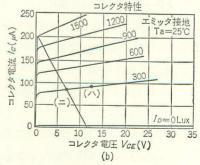
▼図4.132　フォトトランジスタ，ダイオードの外形

(a)フォトトランジスタ(OS14)　(b)フォトダイオード(OS13)

■A　フォトダイオードの特性とは？

図4.133 は，フォトダイオード0S13の特性を示しましたが，特にこの種の特性として大切なことは，(ａ)図に示すように，鋭い指向特性を持つことです．

したがって，光の方向が一様である場合は問題ありませんが，小さな光源の場合は，取り付け方向により，著しく感度が変化します．

光軸より10°傾いたとき，感度は点(イ)から(ロ)へ，1/2に低下することが図から判ります．また，(ｂ)図では，光の強さとコレクタ電圧，コレクタ電流の関係を示したものですが，例えば，12V の電圧を印加して，300ルックスの光を当てると，約90μAのコレクタ電流〔(ハ)点〕が流れることを示します．

▼図4.133　フォトダイオード０Ｓ13の特性

■B　フォトトランジスタ，フォトダイオードの用途

（i）光検出……………一般的に明暗を検出する装置への応用．

（ii）テープリーダー………二進符号でさん孔された紙テープの状態を光学的に検出し電気信号に変換する．

（iii）パルス制御………ランプまたは発光ダイオードを組み合せて，パルス信号の伝達に用いる．電気的に独立した回路間でも信号伝達できる．

▼図4.134　取り付け例

(a)　光　支持板　PTr

(b)　光源　さん孔紙テープ　PTr

(c)　取付けワク（外部光の遮蔽を兼用）　フォトトランジスタ　発光ダイオード（フォトカプラー）

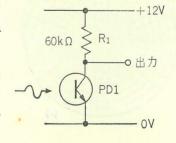
さて，このフォトトランジスタやフォトダイオードは，図4.134 のように取り付けて利用されますが，(a)図は光検出，(b)図はテープリーダー，(c)図はパルス制御用の配置例です．

■C　フォトダイオードの使用回路例

図4.135の回路において，フォトダイオードの動作は，12V/60kΩ＝200μA ですから，図4.133 の 0S13 の特性表より，V_{CE}＝12V，I_C＝0 の点と V_{CE}＝0V，I_C＝200μA を結ぶ線上で動作します．

この線上で，300ルックスの光源に当てると，I_C は〔㊁点〕の電流約 90μA がフォトダイオードに流れますから出力には……

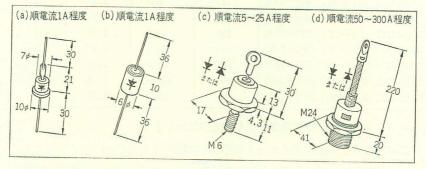
$$12\text{V}-60\text{k}\Omega\times 90\mu\text{A}=6.6\text{V}$$

▼図4.135　フォトダイオード回路例

………が現われます．

光の強さ（ルックス）により，出力電圧が変化し，光を当てないときは，ほぼ12V，逆に1500ルックス以上の光を当てると，約０Ｖとなります．

4.9　整流素子（Silicon Rectifier）

シンボル──→　　　　図4.136　SR　アノード　カソード

▼表4.26　整流素子の外形と分類

整流素子の動作は，全く一般用ダイオードと同じで，シンボルもまた，図4.136 のように，同一の記法ですが，符号だけ SR と Silicon Rectifier の略字を使います．

動作する順特性，逆特性は，順電流１A～数100A，逆電圧数1000Vまでありますが，放熱および接合素子の大きさから，表 4.26 のように，外形から４分類できます．

これらの整流素子は，主に大容量整流用電源の整流器に用いられます．

特に，低電圧大電流用として………

（ｉ）メッキ電源用整流器（メッキ電極への電源として直流化する）

（ii）自動車用整流器（搭載している交流発電機の出力を直流化する）

高電圧大電流用として………

（iii）車輛搭載整流器（交流高圧架線から受電し整流する）

（iv）重工業用大電力直流電動機用電源整流器（圧延機などの動力源用）

▼表4.27　SR（整流素子）の特性表

形　　名	最大定格			電気的特性	
	せん頭逆電圧	平均整流電流（単相波形）	せん頭1サイクルサージ電流（50Hz波形）	せん頭順電圧降下（MAX）	せん頭逆電流（MAX）
1S1885 シリーズ	100～600	1	60	1.2	0.4
1S1890 シリーズ	600～1000	1.2	90	1.2	0.4
3GC12 シリーズ	400～1000	3	90	1.2	1
6GC12 シリーズ	400～1000	6	200	1.2	1.3
12GC11 シリーズ	400～1000	12	300	1.2	2.4
25GC12 シリーズ	400～1000	25	600	1.2	6
150LD11 シリーズ	800～1500	150	4500	1.28	15
300ND11 シリーズ	1000～2000	350	6500	1.42	20
300ND11Aシリーズ	800～1800	400	6000	1.42	30
500UD22 シリーズ	1600～3000	500	10000	1.65	30
800UD22 シリーズ	1600～3000	800	12800	1.55	30

………などですが，特性表の一例を表4.27に示します，

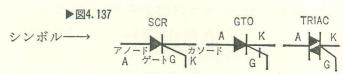
この特性表を一般用ダイオードの特性と比較してください．

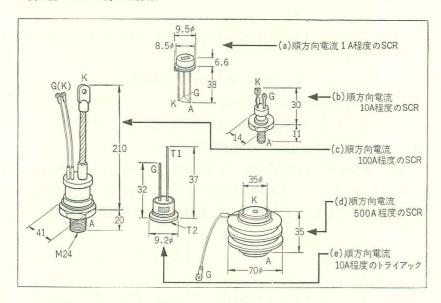
なお，表4.27の800UDおよび500UDシリーズは3000V逆電圧，順電流が800A，500Aにも達しますが，これは円板形の外形を有する平型素子として，接合素子の断面積を大きくし，放熱を改良した素子で，表4.26以外の外形を有します．

このように順電流が大きくなると，当然電力損失も大きくなり，接合素子部での発熱を効果的に外部へ放熱することが必要になります．

表4.26(c)，(d)で示されるネジ部は，放熱板のネジに締め込まれたり，ナットにより締め付けられますが，その際，放熱面への接触部は伝熱を良くするように，熱伝導の良いグリースを塗布し，トルクレンチなどを使って規定された締め付けトルクで締め付けます．

また，この放熱板は，カソード電極となりますので，回路に使用するとき，接地して使用する場合も多いようです．

4.10　シリコン制御整流素子（SCR）

▶図4.137

▼表4.28　SCR の外形と分類

制御整流素子は，負荷に印加される電圧の位相を，連続的に制御しますが，主に，三種類に分けられ，図4.137 のシンボルのように，SCR，GTO，TRIAC などがあります．

これらの整流素子は，アノードA，カソードKに印加される交流電圧は，ゲートGに印加された微小電圧信号によって点弧されます．

点弧させるゲートパルスは，SCR，GTO，TRIAC ともに，ゲートに与えられますが，ゲートパルスによって，点弧が開始することを**トリガー**するといいます．

では，この三種の素子がトリガーするときの特長を示しておきます．

（ｉ）SCR…………A－K間に順電圧が印加されているときだけ，ゲートトリガーされる．

（ii）GTO ………A－K間に順電圧が印加されているとき，ゲート信号が供給されている間点弧し，ゲート信号が切れるとトリガーを停止する．

（iii）TRIAC ……A－K間が順電圧，逆電圧のいずれでもゲートトリガーされる．

いずれにしても，基本となるのはＳＣＲですから，以下ＳＣＲにについて述べていきます．

整流素子と同じように，素子の電力損失および順電流の大きさによって，表4.28のように，外形が決まっています．

外形例をSCRについて示してありますが，他のGTO，TRIACについても同じ三端子素子ですから，この外形に近似しています．

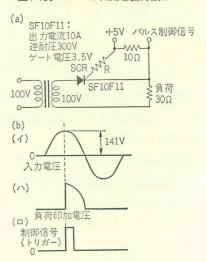
なお，表4.28（c）の100A程度のＳＣＲの外形は，四端子になっていますがリードG,（K）は，ゲート回路への配線用であり，リード（K）とリードKは同じ電極と考えてください．

▼図4.138　SCR の回路と出力波形

A　SCR の使用例

≪位相制御≫

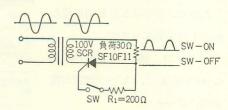
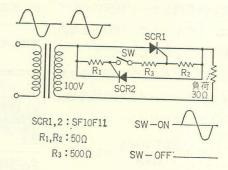
ＳＣＲは，ゲートとカソード間に点弧（ターンオン）させる電圧を印加すれば，導通状態となり，整流素子の順方向とよく似た特性を示します．

図4.138（ａ）の回路において，ＳＣＲに印加される電圧が（ｂ）図の(イ)のように正弦波交流のとき，アノードに正の電圧が加わってから適当な時間後に，ゲートに(ロ)の制御信号（ゲートトリガ

ー信号)を加えますと，その時点で瞬間的に導通状態となり，アノードが，正の半サイクルの期間であれば，負荷の両端には，(ハ)のような電圧波形が現われます．

また，ＳＣＲは順電流を遮断するか，または順電流を保持電流以下にしないと導通がとまりません．

正弦波を加えた場合は，電圧が0から負に移行する負の半波のとき，非導通（ターンオフ）になります．

≪交流点弧≫

前記の位相制御とは別に，図4.139 のように，交流点弧にも使われます．

このときは，ＳＷによってＯＮ―OFFが行なわれるだけで，必要なゲートトリガー信号が，ゲートに印加されますので，正弦波の供給され始めに導通し，ＳＷがＯＮのときの半波電圧が負荷に供給されます．

▼図4.139　SCR の交流点弧回路例

▼図4.140　SCR の交流点弧回路例

負荷に電圧を正弦波状に印加するときは，図4.140 のような回路を使用します．ＳＷによって，＋半波と－半波の正弦波電圧の印加の始めに，ゲート信号が印加され，ゲートトリガーされます．

■B　SCR の特性とは？

では，前記，図4.138, 図4.139, 図4.140 に使用したＳＣＲについて，次のページの表4.29 によって，その定格を調べてみましょう．

すでに，一般用ダイオードの項で述べた定格項目と同じ名称は，ダイオード

の項を参照してください．

ただし，記号はＳＣＲ用に使われますので異なります．

I surge は，図4.138，図4.139，図4.140 の回路で，ピーク電流の定常時には………

$$I_P=\frac{100\mathrm{V}\times\sqrt{2}}{30\Omega}=4.72\mathrm{A}$$

………流れますが，繰り返えされない突発的なサージ電流については，1サイクルで，113A まで許容することを示します．

つまり，ＡＣ100Ｖ が供給されているときは，負荷抵抗は突発的な1サイクルだけならば………

$$\mathrm{R}=\frac{100\mathrm{V}\times\sqrt{2}}{113\mathrm{A}}=1.25\Omega$$

………になってもよいわけです．

V_{GFM} および I_{GFM} は，ゲートカソード間に印加しても，素子が破壊されない電圧および電流です．

▼表4.29　SCR の最大定格

項　目	記　号	定格	単位
せん頭順阻止電圧およびせん頭逆電圧	V_{FOM} または V_{ROM}	300	V
平均順電流（単相半波）	I_O	10	A
せん頭1サイクルサージ電流	*I surge*	113	A
せん頭順ゲート電圧	V_{GFM}	10	V
せん頭順ゲート電流	I_{GFM}	2	A

▼表4.30　電気的特性 Tc（ケース温度）=25°C

項　目	記　号	条　件	最大値	単位
せん頭順洩れ電流およびせん頭逆電流	I_{FOM} または I_{ROM}	定格電圧	10	mA
せん頭順電圧降下	V_{FM}	I_{FM}50A	3	V
トリガーゲート電圧	V_{GT}	V_{FX}=6V　R_L=6Ω	3.5	V
トリガーゲート電流	I_{GF}	V_{FX}=6V　R_L=6Ω	80	mA
保持電流	I_{HD}	R_L=100Ω	100	mA

表4.30 の電気的特性表から，SCR は PNPN 構造ですから，せん頭順電圧降下は，整流素子の PN 構造である12G C11シリーズの値より大きいことも判ります．

ゲートトリガーする信号は，図1.141 に示される点弧特性に従います．

図4.141 は，ゲート電圧電流特性を示していますが，2つの曲線 A，B および最大定格ゲート電圧，電流値（最大定格の V_{GFM}，I_{GFM}）および，定電圧ダ

イオードの項で示した，ゲート電力損失最大定格線C以下で，かつ電気的特性のゲート電圧，電流以上の範囲では，すべてのＳＣＲが点弧します．

すべてのＳＣＲというのは，あるＳＣＲは，図中の①のような特性を有するとすれば，1—1から1—2までの特性線上で点弧し，別の②のＳＣＲは2—1から2—2の特性線上で点弧します．

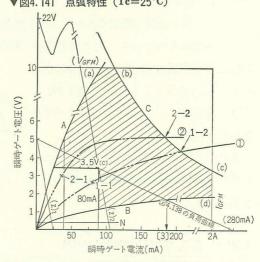
▼図4.141　点弧特性（Tc＝25°C）

このように，最悪の点弧特性を持つものでも，図の斜線の部分の電力信号を与えられるゲートパルス電源を有し，(a)—(b)—(c)—(d) 近傍のゲートトリガー電力を供給すれば，すべての素子を完全に点弧することができます．

図4.141 の点弧特性は，厳密にいえば，$I_o \fallingdotseq 0$ のときの特性ですが，その他の条件でも大差はありません．

また，N電圧線は，これ以下の信号が入っても，絶対に点弧は起こさない電圧レベルを示し，接合部温度が 100°C になり，非常に点弧しやすい条件でも 150mV 以下なら点弧しません．これをノントリガーゲート電圧といいます．

次に，前例の 図4.138 のトリガーは，５Ｖのパルスですから，ゲート負荷曲線を 図4.141 のように考え………

$$R = \frac{5\text{V}}{280\text{mA}} \fallingdotseq 18\Omega$$

………として，最低〔３〕点の180mA の容量を持つパルス電源があれば点弧します．また，図4.139 の交流点弧のときは，アノードに印加され始める正弦波の瞬時電圧をVＶとすれば，ゲート電流 i は………

$$V = 200 \times i$$

………より求められます．

つまり，Vは正弦波電圧であり，0から立上がりますので，例えば，5Vでは，i=25mA ですから，この負荷直線$(Z)_1$を平行移動して，臨界点〔C〕にひっかかる$(Z)_2$直線となるときの，図4.142 のように電圧22Vまで上昇すれば，すべてのSCRは点弧します．

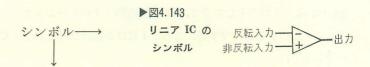
▼図4.142　交流点弧波形

SCRには，表4.31 に示すように，多くの種類があり，たいていの電力容量の負荷を制御できます．

▼表4.31　SCR の種類と定格および特性

形名	最大定格			電気的性格			
	せん頭順阻止電圧およびせん頭逆電圧	平均順電流(単相半波)	せん頭1サイクルサージ電流(50Hz 波形)	せん頭順電圧降下(MAX)	せん頭順もれ電流およびせん頭逆電流(MAX)	トリガーゲート電圧，電流 電圧(MAX)	電流(MAX)
	V	A	A	V	mA	V	mA
SF0R2D41シリーズ	100〜200	0.2	6	2　(　2A)	0.1	0.8	0.2
SF1G11A シリーズ	50〜400	1	17	3.4 (　10A)	0.1	0.8	1
SF3G14　シリーズ	100〜400	3	70	1.6 (　12A)	0.75	1.5	25
SF5J11　シリーズ	100〜600	5	60	2　(　20A)	2〜9	2	20
SF10N11　シリーズ	100〜1000	10	113	3　(　50A)	2.5〜4	3.5	80
SF16R11　シリーズ	100〜1300	16	135	1.95 (　50A)	3〜6	3	40
SF30R11　シリーズ	200〜1300	30	600	1.9 (100A)	6〜10	3	100
SF50R11　シリーズ	200〜1300	50	1000	1.7 (150A)	8	3	100
SF80U11　シリーズ	200〜1300	80	1600	1.75 (250A)	15	3	150
SF150U11 シリーズ	400〜1600	150	3200	1.5 (500A)	20	3	150
SF300U11 シリーズ	400〜1600	300	5000	1.64 (1000A)	20	3.5	260
SF500EX23シリーズ	1600〜2500	500	7200	2.16 (1570A)	50	3.5	260
SF800R22 シリーズ	800〜1300	800	12000	2.15 (2500A)	35	4	320

4.11　IC (Integrated Circuit 集積回路)

▶図4.143

▼図4.144　ディジタル IC のシンボルと論理記号

機　能	論　理　記　号	論　理　式	例
AND回路を示すシンボル	A B C　Y	$Y=A\cdot B\cdot C$ (ABCのANDの結果がYである)	A=1, B=1, C=1なら Y=1×1×1=1 またA, B, Cいずれか1つが0ならば Y=0 (Y=1×1×0=0)
OR 〃	A B C　Y	$Y=A+B+C$ (ABCのORの結果がYである)	A=0, B=0, C=0なら Y=0+0+0=0 いずれか1つが1ならY=1 (Y=1+0+0=1)
NAND 〃	A B C　Y	$Y=\overline{A\cdot B\cdot C}$ (ABCのNANDの結果がYである)	ANDの逆で A=1, B=1, C=1なら $Y=\overline{1\times1\times1}=\overline{1}=0$ いずれか1つが0ならY=1 ($Y=\overline{1\times1\times0}=\overline{0}=1$)
NOR 〃	A B C　Y	$Y=\overline{A+B+C}$ (ABCのNORの結果がYである)	ORの逆で A=0, B=0, C=0なら $Y=\overline{0+0+0}=\overline{0}=1$ いずれか1つが1ならY=0 ($Y=\overline{1+0+0}=\overline{1}=0$)
NOT 〃	A　Y	$Y=\overline{A}$	A=0ならY=1 $Y=\overline{0}=1$ A=1ならY=0 ($Y=\overline{1}=0$)

ＩＣは大きく分けて，論理を行なうディジタルＩＣと，連続信号の増幅などを行なうリニアＩＣとがあります．

図4.143 は，リニアＩＣの中で，演算増幅器（オペレーショナルアンプ）と呼ばれるＩＣのシンボルですが，リニアＩＣは正弦波信号を扱うＩＣと考えてよいでしょう．

一方，ディジタルＩＣは，パルス信号を扱うＩＣであると考えてよく，その構造は，いろいろありますが，シンボルは，図4.144 のように表わします．

ディジタルＩＣでは，機能さえ明確であれば，ＩＣの中の個々の素子の動作は考えなくても，いわゆる論理記号だけで，すべての複雑な装置の設計ができ，また，組まれた回路の動作も理解できるようになっています．

表4.32 は，ＩＣの外形図と分類を示したものです．

▼表4.32　IC の分類と外形

分　類	外　形	用　途
メタルケース	9.5φ　4.5　13　リード数，8～12P	リニアIC用一般
プラスチックモールド DIP	20　7.5　6.4　リード数 14P または16P	ディジタルIC一般 リニアIC一般
プラスチックモールド SIP	13　9　3　4.5　リード数 5～7P	リニアIC
MOS LSI	47　13　3　リード数 20～60P	電子計算機，卓上計算機等特殊用途
ハイブリッド IC	など各種外形	主としてリニア（低周波増巾用）

■A　ディジタル IC の種類

（i）ＤＴＬ………ダイオードとトランジスタの組み合せによる論理回路

（ii）ＴＴＬ………トランジスタだけの組み合せによる論理回路

（iii）ＨＴＬ………ＤＴＬの一部をツエナーダイオードに置き換え，構成された論理回路

(iv) ＭＯＳ………ＭＯＳ型トランジスタ構造の組み合せによる論理回路

以上のように，ディジタルＩＣの内部各素子の構成はたくさんありますが，論理記号で示した機能は，すべて同一と考えます．

したがって，各素子の動作はあまり重要ではなく，機能だけで設計ができます．

■B　ディジタル IC の使用例

ディジタルＩＣを用いる場合，論理式による表示法を理解しなければなりません．

一般に，数字の“１”と“０”の２つの数字をもって表示されますが，“１”とは電圧において，ある高い電圧（電源電圧など），リレー接点においては，ＯＮの状態に対応します．

一方，“０”は逆に，接地電圧（0V），リレーの OFF に対応させます．

ディジタル回路の動作は，この“１”と“０”の状態で表示し，入力と出力の関係を表にすると理解し易くなります．この表を，真理値表といいます．

以下に論理図による動作の状態を真理値表をもって表わします．

ディジタルＩＣ（ＨＴＬ）

▶図4.145

ＴＤ2003Ｐ基本回路

▶図4.146

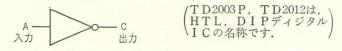
ＴＤ2012Ｐ基本回路

≪NOT回路≫

図4.147は，NOT回路（またはINVERTOR)といわれ，入力と出力は，互に逆の関係にあります．

これは，TD2012Pの回路そのままです．

真理値表では，入力Aが0のとき，出力Cは，1，入力Aが1のとき，出力Cは0になることを示しています．

▼図4.147　NOT 回路

真理値表

入　力	出　力
A	C
0	1
1	0

≪OR回路≫

図4.148の回路は，OR回路といわれ，TD2003PとTD2012Pを組み合せてできています．表にある動作は，OR（論理和）の動作であるといいます．あるいは，表のような動作を行なわせるために，図のような接続が必要といえます．

論理和とは………

$C = A + B$

………で示し，論理数学でいう和のことです．

例えば，A＝1，B＝1では……

$C = 1 + 1 = 1$

………となります．

同様にして，

$C = 1 + 0 = 1$，$C = 0 + 1 = 1$，$C = 0 + 0 = 0$

………を示しています．

▼図4.148　OR 回路

真理値表

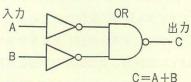
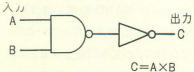
入　力		出　力
A	B	C
1	1	1
1	0	1
1	0	1
0	0	0

≪AND回路≫

図4.149の回路は，AND回路といわれ，同様にTD2003PとTD2012Pを用います．この動作をAND（論理積）の動作であるといい，論理式で…

C＝A×B

………で表わされます．

例えば，両入力が1のときだけ，出力Cは1で，他の場合はすべて0になります．

つまり………

C＝1×1=1，C＝1×0=0，C＝0×1=0，C＝0×0=0

………となります．

▼図4.149　AND 回路

真理値表

入力		出力
A	B	C
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

≪NOR回路≫

図4.150は，NOR回路と呼ばれ，OR回路と，NOT回路が直列に接続されています．

この回路の動作は，表に示すとおりですが，ちょうど，OR回路の出力を逆にしたときと同じだといえます．

例えば，A，B＝1のとき，ORの出力では1になりますが，NOTで反転し0になります．

このように，逆になる場合，式では

$C=\overline{A+B}$

………のように書き，A＋B（バー）と呼びます．

▼図4.150　NOR 回路

真理値表

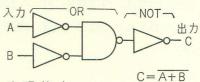
入力		出力
A	B	C
1	1	0
0	1	0
1	0	0
0	0	1

≪NAND回路≫

図4.151 は NAND 回路と呼ばれ，AND回路の動作の逆になっています．

TD2003Pの基本回路そのままですが，用途では，NAND用と表わしてあります．NAND で用いるときが最も最小の使い方ですが，組み合せて，各種の機能が得られますので，特に問題ではありません．

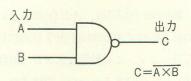
表では，例えば，A，B＝1のとき，

$C=1\times1=1$ (AND)

$C=\overline{1}=0$ (NAND)

………となります．

図4.151　NAND 回路

真理値表

入	力	出　力
A	B	C
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

■C　演算増幅器の使用例（リニア IC）

演算増幅器は，四則演算に用いる増幅器ですが，微分，積分動作もします．

ここでは単なる増幅器（交流，直流両方ともできる）としての使用法を示します．

≪増幅回路1≫

図4.152 のように接続すると，電圧増幅度は，単に抵抗比だけで正確に，決定されます．

$$E_2=-\frac{R_2}{R_1}E_1=-10E_1$$

E_1は直流でも交流でもよく，E_1は10倍増幅されて出力に現われ，電圧の位相は反転します．

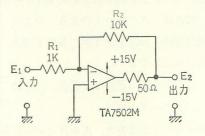
▼図4.152　増幅回路例1

≪増幅回路例２≫

図4.153 のように接続すると，次のように増幅度は決定されます．

$$E_2=\frac{R_1+R_2}{R_1}E_1=11E_1$$

………となり，Eの位相は反転しません．

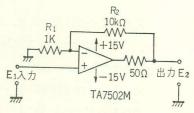
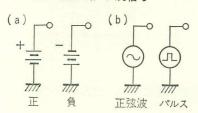
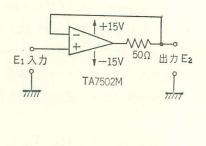
▼図4.153　増幅回路例２

≪増幅回路例３≫

図4.154 においては………

$$E_2=E_1$$

………となり，増幅度は１になります．

▼図4.154　増幅回路例３

▼図4.155　増幅回路の入力信号

これらの入力 E_1 信号は，図4.155（a）のように，直流電圧でも，または，(b)図のように交流電圧のいずれでもかまいません．

■D　IC 中の回路はどのようになっているか？

≪ディジタルＩＣの例≫

次のページの図4.156（a)は，ディジタルＩＣの中で，ＴD2002Ｐと呼ばれるものです．これは外形上ＤＩＰのケースに入っていてリードが14ピンあります．

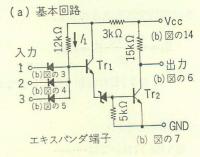
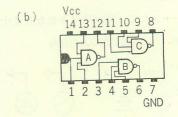
図4.156（b）のシンボルは，(a)図の基本回路によって構成され，この基本回路が３組１つのＩＣに入っています．例えば，(b)図の回路ブロックＢの各リードは（a）図の（　）内で示す各端子に相当します．

第14ピンと第7ピンの間に，+15Vを加えます．

例えば，入力を1つだけ用いると，NOT回路になり，2つのときは2入力NAND回路となります．

入力端子は，できるだけ有効に使うべきですが，やむを得ずこのように1つだけ用いて他を遊ばせてもかまいません．1コのケースの中には，素子の数は，10×3=30コ含まれていることになります．

動作は，入力端子信号が1のとき，I_1はTr1のベースに流れ，さらに，そのエミッタ電流は，Tr2のベースに流れて，Tr2が飽和状態になり，出力はほぼ0Vになります．

▼図4.156　ディジタルICの回路構成

入力端子信号が0のときは，Tr2は，遮断状態になり，出力は高い電圧（約15V）が現われます．

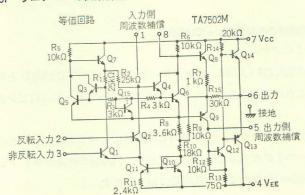
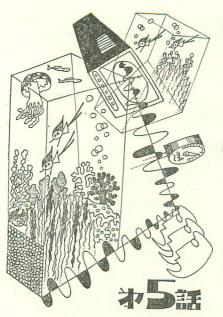
▼図4.157　リニアICの回路構成

≪リニアＩＣ（演算増幅器）の例≫

図4.157 は，リニアＩＣの中で演算増幅器と呼ばれるＩＣの回路構成ですが，これだけで1コのＩＣを構成します．

入力端子が2コ（端子2，3）あって，どちらも出力側の電圧を変化させる能力があります．

反転入力に信号を入れると出力側の位相は反転します．

V_{CC} と接地間に＋15V，V_{EE} と接地間に，－15Vを印加し，入力信号は各端子と接地間に，出力は出力端子と接地間に得られます．

この増幅器は，どれも抵抗を接続しないとき，20000倍以上の増幅度があり，このように複雑な回路となっています。

ELECTRO-NICS

疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス・1

《実用基礎編》

第5話 電気を見る！やさしい計器の使い方

械機屋さんが，電気現象を理解しにくい理由の１つに，電気を測定してみないからということがあります．

機械と電気，あるいはエレクトロニクスの異なるところは，稼動に到る調整，故障修理の際，まず電気を見ることのできる計器を，すぐ手にして調べることです．回路構成部品を，ただ見ているだけでは仕事は進みません．

とにかく，あらゆる計器，測定器を使いこなし，電気量やこれらの変化を指示計器を介して，まず目で確かめます．

電子回路には，“先ず計器を！”です．

第５話では，計器の代表的なものとして，テスター，各種指示計器，記録計，シンクロスコープの取り扱い方についてお話しします．

大概のトラブルや調整には，以上の計器を駆使すれば十分であり，ベテランの電子回路屋さんも，ほとんど，この程度の計器で存分に活躍しています．

第5話　§その1
指示計器の使い方

☞ エレクトロニクスの分野では，電気の量や電気の現象を計測することが，しばしば必要になります．ところが，目に見えない電気を相手に，人間の持つ感覚で直接，これらの現象をとらえることは，到底無理な話です．そこで，電気量を特に複雑な操作をしなくても，直接測れるようにしたのが，これからお話しします各種の計器です．中でも，私たちが日常メーターと呼んでいる指示電気計器は，比較的構造の簡単な電流，電圧，電力を測る基本的な計器です．また，これらの計器は，いろいろな計測器や装置の中にも使用されていますので，これらの指示電気計器の基本的な原理と取り扱い方についてお話ししましょう．

1.1　基準器とは？

まず最初に，私たちが日常耳にする，アンペア（A），ボルト（V），ワット(W)といった単位が，どのように決められているのかを知っておかねばなりません．

電気に限らず，すべての単位は国際的に統一されていて，世界共通です．

フランスにある国際度量衡局が，各種原器の保管や，度量衡，電気，光および温度に関する世界の単位の研究をしていますが，わが国では，通商産業省の電気試験所によって，標準器の値が維持されています．

例えば，ボルト単位の維持には，数10コの標準電池の中から，変動の少い10コを選出し，この平均値によって日本におけるボルト単位を維持しています．

また，国際比較は，わが国の電池とデータをフランスの国際度量衡局に送り，国際度量衡局のものと比較します．

この他にも，標準抵抗器，標準コンデンサー，標準誘導器などがありますがこれらの標準機器を組み合せることによって，指示電気計器が作られます．

1.2　指示計器の分類

図 5.1 に示しますように，一般に，メーターの目盛板には，JIS で規定された各種の記号が記入されていて，一目で，その計器の内容が理解できるようになっています．では，これらの記号について，説明しましょう．

▼図5.1　メータの目盛板の例

■A　階級による分類

これは，計器の許容差を表わすもので，図 5.1 のように，普通，目盛板の下部に，classと記入されています．

一般に，電圧計，電流計，電力計には，表 5.1 のように，0.2級，0.5級，1.0級，1.5 級，2.5 級と 5 階級に分れていますが，周波数計は，0.2級，0.5 級，1.0 級の 3 階級に分類されています．例えば，階級 1.0 級の計器の目盛板の有効測定範囲では，指示値の誤差が最大目盛値の ± 1 %以内であることを意味しています．

表5.1　階級による分類と記号

階級	記		号
0.2	0.2 または class 0.2		
0.5	0.5	〃	0.5
1.0	1.0	〃	1.0
1.5	1.5	〃	1.5
2.5	2.5	〃	2.5

もう少し詳しく説明しますと，最大目盛100V，1.0級の電圧計では，最大

目盛の±１％，すなわち，±１Ｖまでは誤差が許されることになり，正確な50Ｖの電圧を計器に加えたとき，計器の指示が，50Ｖ±１Ｖ（49Ｖ～51Ｖ）を指示してもよいということになります．

この有効測定範囲とは，目盛板の規定の誤差範囲内で，測定可能な部分を指し，図 5.2 のように，目盛板の下限に丸印（•）を付けたものや，上限および下限に付けて，有効測定範囲を示しています．また，目盛板に，何も印の付いていないものは，最大目盛の25％の点以上が，有効測定範囲と考えてよいでしょう．

▼図5.2　有効測定範囲

(i)　目盛の零位の付近で著しく縮小した目盛および拡大目盛
B およびC例では丸印を省いてもよい．

(ii)　延長目盛をもつ目盛
D例で下限の丸印が有効測定範囲の上限値の25％の点ならば省いてもよい．

■B　動作原理の形による分類

動作原理の形による分類は，一般に測定する電気量を，指針の振れに変換する駆動装置の動作原理によって分類されます．

表 5.2 のように，計器の目盛板の下部に，各種の記号が記入されています．

この表からもお判りのように，その種類が非常に多いため，動作原理によるそれらの計器の得失を理解しておくことが大切です．

①　可動コイル形

直流計器のほとんどがこの形で，正確さ，感度ともに最もすぐれています．後に出てきます熱電対形や整流形計器も，熱電対や整流器で交流を直流に変換し，可動コイル形計器で指示します．

また，交流の諸電気量や温度，回転数などの測定量もトランスデューサー（変

▼表5.2　指示電気計器の動作原理の形による分類

種類		記号	種類		記号
可動コイル形			静電形		
可動鉄片形			誘導形		
電流力計形	空心		振動片形		
	鉄心入		可動コイル比率計形		
整流形			可動鉄片比率計形		
熱電形	直熱		電流力計比率計形	空心	
	絶縁			鉄心入	
			しゃ磁形		

備考　1．しゃ磁形のものは，動作原理の形の記号を円で囲む．
　　　2．測定器などで可動コイル形の計器にスイッチ切換などで整流器，熱電対などを接続し，直流，交流を指示するような場合は，計器単体の記号（可動コイル形）をつける．

換器）により，直流の電流または電圧に変換し，指示計に可動コイル形計器を使用しています．

②　可動鉄片形

商用周波（50Hz または 60Hz）の交流電流計および電圧計として，最も広く用いられています．

構造が簡単で堅牢ですが，可動コイル形計器に比べ，計器自身が消費する電力が大きいという欠点を持つため，もっぱら，商用周波数の交流専用として使用されています．

また，外部磁界の影響を受けやすいため，大容量のトランスや回転機の近くでの使用は避けるとともに，大電流用のものは，計器への接続導線をできるだけ接近させるか，ねじるなどの注意が必要です．

③　熱電対形

電流による発熱作用を利用したものですが，交流計器のうちでは，最も忠実に実効値を指示してくれます．また，高周波特性がよいため，高い周波数（5 MHz 位）での測定にも使用できます．

熱電対形を使用する場合，次のことに注意しなければなりません．

（i）過負荷に対して弱いため注意が必要です．定格値の120～150％の過負荷で，発熱線が断線することがあります．

（ii）発熱線と熱電対の熱容量のため，指示の応答が遅くなります．

（iii）直流を測定する場合には，極性をかえて，平均値を測定値とします．

④　整流形

これは，被測定交流を整流器で直流に直し，可動コイル形計器で指示させるものですが，交流計器のうちでは，最も感度が良く，周波数は 20KHz 位まで使用できます．

動作原理上，交流の平均値を指示しますが，目盛は正弦波交流の実効値で目盛られています．

したがって，正弦波以外のひずみ波交流を測定する場合には，波形による誤差が生じますので，注意が必要です．

⑤　電流力計形

固定コイルと可動コイルの両コイルに電流を通じることにより，両電流間の相互作用によって，駆動トルクを発生する一種の掛算器で，電力計として用いられます．

また，電流力計形も可動鉄片形計器同様，外部磁界の影響を受けやすいので，使用にあたって注意を必要とします．

⑥　静電形

静電吸引力を利用して駆動トルクを得るもので，原理的に実効値を指示し，直流，交流（1KHz 程度まで）のいずれにも使用することができ，消費電流が極めて少なく，各種の高圧試験や電子顕微鏡，テレビジョンの高圧測定に使用されます．

■C　用途による分類

計器は用途に応じ，いろいろなものが作られていますが，代表的なものを上げますと，次のようになります．

①　すえ置用

一般に外形および重量が大きく，水準器などを備えていて，通常，専用の試験台など，その使用する場所にすえ置いて使用する計器です．

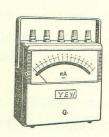
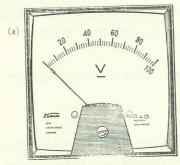
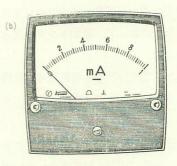
図 5.3 はその外形を示したものですが，最も正確さのよい標準用計器（0.2級）が多いようです．

▼図5.3　すえ置用計器

②　携帯用

すえ置用計器に比べて，一般に外形および重量が小さく，携帯に便利な構造の計器です．

その外形を 図5.4 に示してありますが，0.5級ないし，1.0級の正確さのもので，実験室や

▼図5.4　携帯用計器

▼図5.5　配電盤用計器

工場現場での一般精密測定に使用されます.

③　配電盤用（パネル用計器）

発電所，変電所をはじめ，工場，ビルディング，車輌，船舶などの配電盤，計器盤や各種の計測機器に使用されます.

図5.5は，その外形を示したものです.

■D　直流と交流による分類

測定する対象が，直流か交流かによって分類され，計器目盛板の中央部分に表5.3の記号が記入されています.

▼表5.3　直流・交流の分類による記号

種　類	記　号
直　流	―
交　流	～
直流ならびに交流	≂
平衡三相交流	≋
不平衡三相交流	≋

■E　姿勢による分類

計器を使用する際，その取り付け方の姿勢を指示したものですが，表5.4のように，鉛直，水平の他に，傾斜させて使用する場合は，傾斜角度が指定してあります.

一般に，計器目盛板の下部に，表5.4の記号が記入されています.

▼表5.4　姿勢による分類記号

種　類	記　号
鉛　直	⊥
水　平	⊓
傾　斜 (60度の例)	∠60°

▼表5.5　測定量による分類記号

種	類	記　　号
電　　流	アンペア	A
	ミリアンペア	mA
	マイクロアンペア	μA
	キロアンペア	KA
電　　圧	ボルト	V
	ミリボルト	mV
	キロボルト	KV
電　　力	ワット	W
	ミリワット	mW
	キロワット	KW
	メガワット	MW
周　波　数	ヘルツ	Hz
	キロヘルツ	KHz
	メガヘルツ	MHz

■F　測定量による分類

計器の測定量を表示する記号で，目盛板中央に，表 5.5 の記号が記入されています．

■G　その他の記号

いままで説明した以外にも，計器をパネルなどに取り付けて使用する場合表 5.6 のようにパネルの材質を指定したものや，温度計，速度計，照度計，pH 計などの特殊仕様のものは，特殊な記号，文字などが記入されます．

▼表5.6　その他の記号

種　　類	記　　号
高感度計器	Ⓗ
鋼　板　用	Fe*
非鋼板用	NFe

* 鋼板の厚さによって指示に影響がある場合は厚さを並記することができる．例：Fe 1.6

第5話　§その2
テスターの使い方

☞ テスターという言葉を，私たちは日常よく耳にします．

テスターと呼ばれているものには，いろいろの分野で，いろいろな目的を持って使用されています．

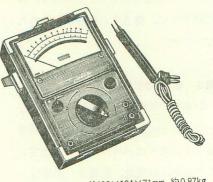
しかし，ここでは電気屋のテスター，正しくは，回路計 (Circuit Tester) について，その性能，および基本的な使用法についてお話しすることにしましょう．

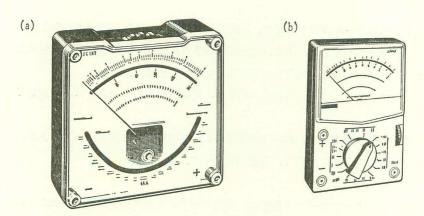
2.1 テスターの特長

図 5.6 は，代表的なテスターの外観図です．

また，図 5.7 のように，特に小型のものを，別名ポケットテスターと呼んでいます．

テスターは，前項で説明しました指示計器に比べ，一般に，小型で汎用性を持たせてあり，持ち運びに便利なように考えられていま

▼図5.6　代表的なテスター

約190×124×71mm　約0.87kg

▼図5.7　ポケットテスター

す．また，直流(DC)，交流(AC)の電圧，電流，抵抗をスイッチの切替えやピンプラグの差込みによって，簡単に，しかも広範囲の測定ができるようになっています．

したがって，用途も広く，エレクトロニクスのいろいろな実験から，各種装置の電気回路チェック，ラジオ，テレビの修理に到るまで，あらゆる分野で使用されています．

テスターは，前項の電気計器に比べ，一般に測定の精度が劣りますが，テスター本来の使用目的は，いろいろな回路に，どの程度電圧が印加され，どの程度の電流が流れているか，また回路の抵抗がどのくらいかといった，あまり測定の精度を必要としない回路の測定，またはチェックなどが主なものです．

しかし，テスターも，最近は高精度のものがぞくぞく開発され，中には，電気計器なみの精度で測定できるものも，市販されています．

2.2　テスター取り扱い上の一般的注意

では，テスターを取り扱う上での一般的な注意を，次の項をおいながら説明しましょう．

(i)テスターの指示計（メーター）部分は，精密に組み立てられていますの

で，強い衝撃や振動を与えないように注意してください．

（ii）テスターを使用する際は，測定する対象に合ったレンジであるかを確認し，切替えてください．また，電圧が印加された状態や，電流の測定状態のまま，レンジの切替を，原則として行なってはいけません．

さらに，設定したレンジ以上の過電圧，過電流にならないように，注意してください．

特に，電圧測定中に，誤って電流計のレンジに切替えた場合は，メータが破損することがありますので，注意が必要です．

（iii）テスターを使用する場所に，大型のトランスやモーターなどの強力な磁界があると，メーターに作用し，正確な測定ができなくなることがありますので，注意してください．

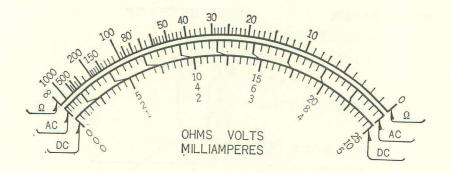
（iv）テスターは，一般的に，長時間使用することを目的としていないため，高温の場所での使用や，連続使用した場合は，内部部品の温度特性の影響を受けて，精度が下る恐れがありますので，注意してください．

（v）テスターの交流(ＡＣ)レンジは，一般に商用周波数(50Hzまたは60Hz)の測定を目的としているため，測定できる周波数の上限は，あまり高くはありません．

高い周波数を持つ電圧，電流を測定する場合は，誤差が大きくなりますのでよく取り扱い説明書の使用周波数限界を確認して，使用してください．

（vi）テスターの交流(ＡＣ)レンジの使用の際，もう一つ注意しなければならないことは，測定する電圧，電流の波形の問題があります．

私たちが，通常交流と呼んでいるのは，一般に正弦波交流を指す場合が多く，テスターの交流レンジも正弦波交流に対する指示値で目盛られています．

▼図5.8　スケール図（原寸）

したがって，これ以外の波形を持つ交流の電圧や電流を測定する場合には，誤差が大きくなり，正確な測定ができません．

このような特殊な波形に限って，一定の定数を掛けて，テスターの交流レンジで測定し，それから計算によって求めることができます．

(vii) テスターは一般的に，交流（ＡＣ）の測定の場合と，直流（ＤＣ）の測定の場合とでは，図 5.8 のスケール図のように，読み取る目盛が違う場合が多いものですから，注意してください．

また，交流の場合は，レンジによって目盛が独立しているものや，ゼロ付近の目盛がつまっているものがありますので，ゼロ付近での指示の読み取りを避け，一段下のレンジで測定してください．

(viii) 測定前のメーターのゼロ調整と，抵抗測定の場合のゼロ調整は，指定のゼロ調整ノブによって，それぞれ，0および0Ωに調整してから使用します．

2.3　テスターの使い方

■A　直流電圧の測定

測定対象の電圧の概略値を確認した上で，レンジを設定し，測定点に，図5.9のように，テスター棒の＋，－を間違えないように当てます．

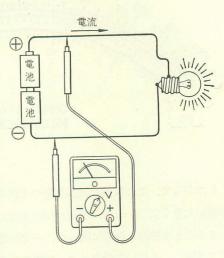
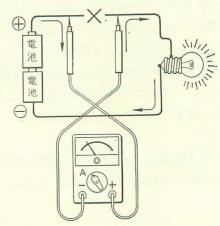
やむを得ない事情のため，通電したままの状態で測定する場合は，接地側（一般にマイナス）を先に当てると，高圧の際に感電の危険は少なくなります．

ただし，プラス側接地の場合もありますので，高圧測定の場合は，特に注意してください．

▼図5.9　直流電圧の測定

■B　直流電流の測定

直流電圧の測定と同じことですが，測定対象に合せて，レンジを設定し，負荷と直列に電流計を接続します．

図5.10に示すように，電流の流れ込む側が，プラス⊕，流れ出る側が，マイナス⊖です．

▼図5.10　直流電流の測定

■C　交流電圧の測定

測定対象に合ったレンジの設定は，直流電圧の測定の場合と同じですが，交流電圧の測定では，テスター棒の極性⊕および⊖は，測定点のどちらに当ててもかまいません．

交流電圧測定の場合，特に注意することは，一般に目盛のゼロ近辺が，図5.8のように，つまっていますので，読み取り誤差が増大します．

したがって，この部分での測定は，レンジを切替えることによって，避けるように心掛けてください．

■D　抵抗の測定

テスターの抵抗計は，いろいろな電気回路や，トランジスタ，ダイオードを含めた電気部品などの試験に使用され，その用途も非常に広範囲です．

テスターの抵抗計は，レンジを抵抗計に切替え，テスター棒の⊕，⊖を短絡させた状態（抵抗0オームと考える）で，メータの抵抗目盛の0点に指針がくるようにゼロ調整を調整した後，テスター棒を開放しますと，指針は∞Ω（無限大オーム）を指します．このように，被測定物の両端に，テスター棒を当てれば，抵抗値を簡単に測定することができます．

電気部品の試験の場合，例えば，電球とかフューズのように切れているかどうかを調べたい場合には，テスター棒を両端に当てて，0Ωか∞かによって，良否の判定ができますが，トランジスタやダイオードなどを調べる場合は，テスター棒の極性を考慮して測定をしなければなりません．

つまり，テスターを抵抗計に切替えた場合，テスター棒の⊕，⊖には，その極性と逆な測定電圧がテスター棒に印加されていますので，例えば，ダイオードを測定する場合，ダイオードの電気的特性から，テスター棒の極性によって，全く違った指示をします．

ダイオードの良否判別の測定例を示しますと，図5.11のようになります．

図5.11（a）において，ダイオードのカソード側に，テスター棒の⊕を，テスター棒の⊖をアノードに接続しますと，抵抗は小さく，抵抗計の指針はゼロ近

辺を指します．

（ｂ）図の場合は（ａ）図とは逆に，抵抗は非常に高く，指針は∞近くを指します．

したがって，被測定ダイオードが良品の場合には順方向，逆方向における抵抗の差が大きくなり，導通した状態（内部のＰＮ接合がショートした状態）で劣化していた場合は，順方向，逆方向の測定のとき，その抵抗値の差が小さくなり，また，オープン劣化（内部のＰＮ接合が破断した状態）では，順方向，逆方向の測定時の抵抗値は∞近くを示し，良，否の判定ができるわけです．

▼図5.11　ダイオードの良否の判別

ここで不思議に思われることは，前に述べた＋，－の極性とダイオードの電流が流れる方向，およびテスターの⊕端子，⊖端子の記名が逆になることです．しかし，これは，テスターの構造上，⊕端子はテスター内部にある電池の－極に，⊖端子は＋極に接続されており，このテスターの⊕⊖端子は測定される回路における，電圧測定に対しての＋側，－側を示すものだからです．

テスターの抵抗計は，この他に，各種のコンデンサーやリレーのコイル断線など，簡単に調べることができます．

第5話　§その3
記録計の使い方

記録計は，いろいろな電気の測定量を記録する計器ですが，大別しますと，電気量を連続的に記録するアナログ形記録計と，電気量を直接，数字や文字で記録するディジタル形記録計に分けられます．

アナログ記録計には，その動作機構から直動式と自動平衡式とがあります．

また，ディジタル記録計には，14桁のデータを，1秒間に5行も印字できるディジタルレコーダーや，電子計算機の出力用などに使用されている電動式のタイプライターなどがあります．

3.1　いろいろな記録計の原理，特長，用途

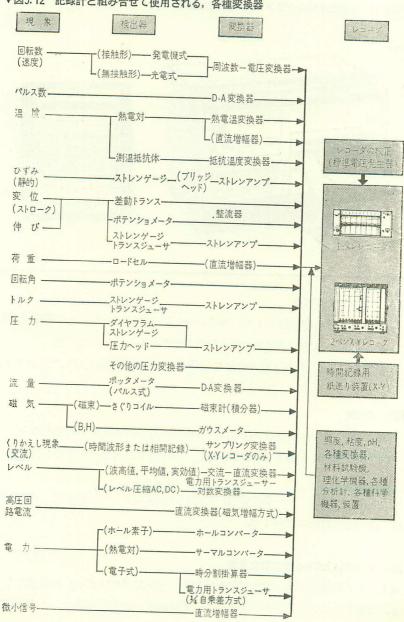
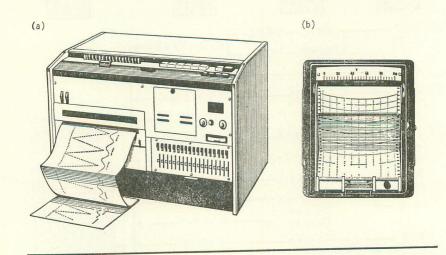
記録計の使用分野は極めて広く，電気の計測はもとより，測定対象に応じて各種の変換器（トランスジューサ）が用意されていて，光，音，歪などの物理化学，医学などの分野の諸現象を，電気信号に直して記録計で記録することができます．

さて，表5.7は，現在各分野で使用されている代表的な記録計ですが，ここには，原理や特長，用途などが示されています．

この表でお判りのとおり，ひと口に記録計といっても，いろいろな目的のために，いろいろな記録計が作られていますので，当然，取り扱い保守の方法も違ってきますが，これらの記録計に共通する事項について，お話しします．

▼表5.7　代表的な各種記録計の原理，特長，用途

分類	動作方式	名称	記録原理と基本構造	記録方式	周波数範囲	精度	記録幅	記録紙	特長	用途
アナログレコーダ	直動式	直動式記録計	指示計器の指針の先にペンをつけ，スケールの代わりに記録チャートをあてがって，インキで指針のうごきをそのまま記録させる．構造は，指示計器のそれと大差はなく，可動部の動作も；可動コイル形，誘導形，整流形，微分形などがある． また記録紙の送りは，手巻時計式，電気巻き式，同期電動機式がある．	インク書き式	DC or 商用	約2.5%	120mm	紙 折りたたみ式	◇構造が簡単で堅牢 ◇価格が安い ◇小形，軽量 ◇保守，点検が容易	●電力系統の電圧 ●電流，電力の記録 ●実験室の簡易記録 ●主として強電用
		ペンオシログラフ	35ミリ幅のマイラベースの上にカーボンを蒸着して作った特殊フィルム(スクラッチフィルム)上を，ダイアモンドペンによって引掻きながら記録する．ペンモータは可動コイル形で外形が小さく早い動きができる．記録後のフィルムは，35ミリのマイクロフィルムシステムによって，拡大観測，拡大コピー，密着複写等が自由に行なえる．	電子式スクラッチ式	DC〜100Hz	約3％	4mm	35ミリフィルム(特殊)ロール式	◇2年以上の長時間記録可能 ◇消耗品がゼロ ◇データの管理はマイクロフィルムシステム ◇高い周波数応答性 ◇コピーができる	●電力監視 ●地震計，振動計の出力 ●稼動時間，運行時間等の記録 ●車載試験 ●気象観測 ●土圧，水圧，風圧の記録
		電磁オシログラフ	超高圧水銀灯を使用した光源から照射される光のビームを，固有振動数の高い振動子にあて，振動子内のミラーによって偏向された光を紫外線感光紙へ反射させ記録を行なう；振動子は小形で，固有振動数が高いため，多チャンネルを同時に記録できるとともに，記録計の中では最も応答周波数範囲を広くとれる． 記録トレースは相互に交叉できる．	紫外線(ビーム)式	DC〜3500Hz	約3％	100mm	紫外線感光紙ロール or 折りたたみ式	◇多チャンネルの同時記録 ◇高い周波数応答性 ◇直記式（無現像） ◇ラックマウント可能	●過渡現象の波形記録 ●リレーの時間解析 ●電源変動 ●電力関係 ●振動，動ひずみの記録 ●原子力関係
	自動平衡式	ペンレコーダ	入力未知電圧と記録計内部の標準電圧をつきあわせて，その差電圧がゼロになるよう平衡電動機を動作させる．平衡電動機の回転角をペンに導き指示を得る．サーボ機構はFETチョッパを使用した高周波変調形直流増幅器と直流モータからなる直流サーボ方式であり，ノイズ，安定度の点ですぐれている．増幅器部はシリコントランジスタ,ICを使用したオールソリッドステート化されたもので，長期の使用に耐える．	電式式インク書き式	DC〜2Hz	0.3%	200mm	紙 折りたたみ式	◇高精度，高安定性 ◇高入力抵抗 ◇すぐれた耐ノイズ性 ◇カードリッジ式インク機構	●微少電圧の波形記録 ●温度変化の記録 ●化学反応の記録 ●静ひずみの記録 ●各種mV変換器の出力記録
		X-Yレコーダ	動作原理，サーボ系は上記ペンレコーダに同じ，サーボ機構をX軸とY軸それぞれ独立して有しy=f(x)の関数が記録できるよう考えられている。外付の紙送りユニットを付加すれば，低速から高速まで記録紙を一定速度で駆動して時間記録もできる．	インク書き式	DC〜2Hz	0.3%	200mm	紙 A－4シート or ロール式	◇高精度，高安定性 ◇高入力抵抗 ◇すぐれた耐ノイズ性 ◇時間軸内蔵 ◇y=f(x)の関係を記録できる	●微少電圧の相関解析 ●示差熱分析 ●理化学の反応分析 ●各種特性曲線の記録 ●宇宙工学，通信工学関係 ●各種mV変換器の出力記録
デジタルレコーダ		ラインプリンタ	一桁について12のデータ入力線があり，各桁の選択すべき文字に対応した線だけに印字信号を同時に加え，各々の印字車を固定させ全桁の活字が選択された後1つのハンマーで全桁同時に印字する．	印字式 インクリボン			96mm	紙 ロール or 折たたみ式	◇高速度 ◇最高14桁までのデータを同時に200ms以内で記録できる	●各種自動記録装置 ●無人化電子設備の自動精密測定 ●テレメータシステム，データ伝送システムの高速デジタル記録装置
		電動タイプライタ	電動形タイプライター 各キーにプランジャが取り付けられており，外部信号により駆動印字する．	印字式 インクリボン			A 4	紙 A－4 or ロール	◇作表ができる ◇一般電動タイプライターとして使用できる ◇赤字の印字ができる	●自動計測装置の記録用 ●データ伝送システムの高速デジタル記録装置

▼図5.12 記録計と組み合せて使用される，各種変換器

▼図5.13　(a)電磁オシログラフ　(b)直動式記録計

■A　記録計の周辺機器

記録計は各種の変換器（トランスジューサ）の開発により，その用途は拡大され，あらゆる分野の諸現象の記録解析ができるようになりました．

図5.12は，現在記録計と組み合せて使用される各種変換器を示したものです．

■B　記録紙

記録紙は，特殊な記録計を除けば，一般に紙製の折りたたみ式のものや，ロール式のものがほとんどですが，一部に，丸形および角形状のものも使用されています．

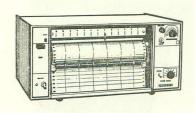
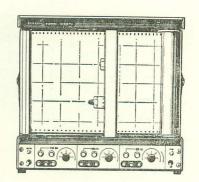
折りたたみ式は，データの整理，観察が容易にできるのが特長で，ロール式は，長時間の記録に便利です．

■C　取り扱い上の一般的な注意事項

（i）長時間使用しないまま放置した場合，ペン先が乾いてインクが出なくなり，記録できないことがありますので，使用前にペン先を掃除し，インクが正

▼図5.14 (a)ペンレコーダー　(b)XY レコーダー

(a)

(b)

常に出ることを確認してください.

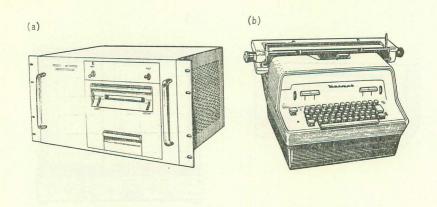
また使用後は，ペン先からインクを抜きとってください.

(ii) 記録計への入力電圧が低レベルの場合は，周辺の機器から発生する雑音の影響などを受け易く，誤差の原因となりますので，接地端子は必ず接地して使用します.

(iii) 記録計は，前面をカバーなどでおおわれていますが，このカバーを開いたままの状態に放置しますと，内部にホコリが入る恐れがありますので，必要時以外は，必ず閉じておくように注意してください.

(iv) 記録計には，衝撃に非常に弱いものもありますので，使用にあたっては，強い衝撃や振動を与えない場所に設置する必要があります.

さて，代表的な記録計について，その外観図を図5.13，図5.14，図5.15に示しておきました.

▼図5.15　(a)ディジタルプリンター　(b)電動タイプライター

3.2　記録計の一般的使用法

A　記録のための準備

記録紙の両端にある紙送りのための孔（パーフォレーション）を，ドラムのスプロケットに正しく合せ，所定の場所に挿入します．

また，記録インク装置，およびペン先部分が正常動作をするかどうかを確認し，インク不足の場合は，予め補充します．

次に，電源スイッチをＯＮにして，内部回路が安定状態になるまで，数分待ちますが，これを一般に，プレヒートといって，電子計器の動作を正確にする待時間です．これで，測定の準備は完了します．

B　測　定

（ｉ）測定レンジつまみを予想される測定電圧より，高めのレンジに設定します．

（ii）入力端子の両端を短絡（ショート）し，記録計の指針がゼロにあるかを

確認し，ゼロ点にない場合，調整器によりゼロ点に合せます.

(iii) 入力端子を測定対象に接続します.

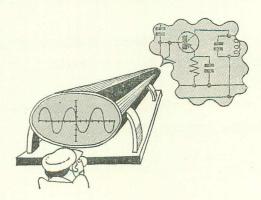
この場合，入力端子が赤色，または特に明記されていないものは，接地（アース）に対し電気的に絶縁されていますので，必ず測定対象に合せて接続してください．接続を誤りますと，低レベルの電圧測定時に，誤差となることがあります.

(iv) 指針の振れが小さい場合は，レンジを順次低い方向に切替え，できるだけ大きな振れを与えて詳しく読み取れるようにします.

(v) 記録を開始する場合は，記録紙の送り速度を測定目盛に合せ，適当な速度に設定し，送り装置のスイッチをＯＮにしますと，測定記録に入ります.

(vi) 記録中止の場合，記録紙送り装置のスイッチを OFF にし，測定も中止の場合は，電源スイッチを OFF にします.

第5話　§その4
エレクトロニクスにかかせぬ オシロスコープ

☞　オシロスコープ，またはオシログラフは，私たちがよく耳にする言葉です．ここでは，エレクトロニクスの分野ではかかすことのできない，オシロスコープについてお話しします．

4.1　オシロスコープ

ひと口にオシロスコープといっても，その種類は非常にたくさんあります．

例えば，電磁オシログラフから，図5.16（a）のような，ブラウン管オシロスコープ，また，図5.16（b）のような，シンクロスコープ，あるいは，メモリスコープ，サンプリングスコープなど，いろいろな分野で，数多く使用されています．

従来，電圧や電流を測定する場合には，主として，電圧計や電流計を使用して測定していましたが，これでは，どのような波形をした電圧，電流であるのか見分けることができませんでした．

近年，エレクトロニクスの装置や機器は，だんだんと複雑になってきて，ス

テレオ装置やテレビ，そしてコンピュータに至るまで，その動作波形の観測なしに，調整や修理は不可能といっても過言ではありません．

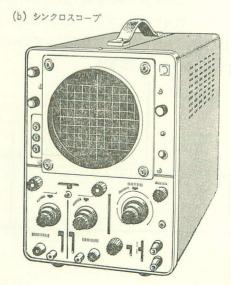
このような時間とともに変化する電気量を，波形として見るものを，一般にオシロスコープ(Oscilloscope)，またはオシログラフ (Oscillograph) と呼んでいます．

オシログラフの中には，電磁形のオシログラフも，波形観測用として使用されていますが，どちらかといえば，機械的手段で波形を記録紙に描かせるものですから，測定周波数が高くなると，機械的慣性，記録紙やペン先の摩擦，記録紙の速度を上げられないなどの理由で観測ができなくなり，現在は，低い周波数を対象に特殊な用途に用いられます．

したがって，ここでは，ブラウン管に観測波形を描かせる方式のオシロスコープ，正式には，ブラウン管オシロス

▼図5.16 (a)ブラウン管オシロスコープ
(b)シンクロスコープ

(a) ブラウン管オシロスコープ

(b) シンクロスコープ

コープ（Cathode Ray Oscilloscope）についてお話しします．

4.2　ブラウン管の動作原理

ブラウン管は，オシロスコープはもとより，テレビやレーダなどにも使用されていますので，目新しい言葉ではないと思います．

ブラウン管は，1897年に，ドイツの科学者ブラウンが発明したので，この名前を取って，ブラウン管と呼んでいますが正式には，Cathode Ray Tube，といい，略して CRT とも呼んでいます．

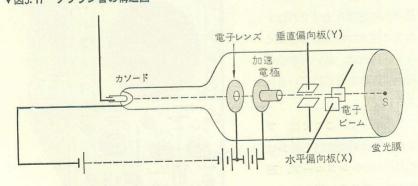
図5.17 は，このブラウン管の基本的な構造図です．

動作原理を簡単に説明しますと，まず，カソードに対しプラスの直流電圧を加速電極に加えますと，カソードから出たマイナスの電荷を帯びた電子のビームは，電子レンズで集束された後，加速電極のプラスの電位に引かれて到達します．

図のように電極の中央に穴に開けておくと，電子ビームは穴を通りすぎて，螢光膜に高速でぶつかり，輝点（spot）を生じます．

しかし，このままでは，輝点が螢光面の一点にあるだけです．

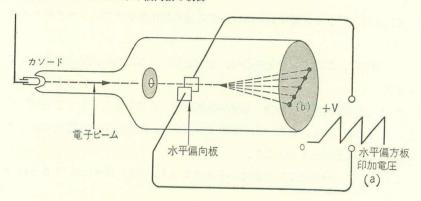
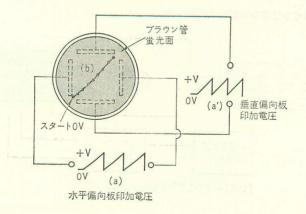
そこで，輝点を必要に応じ，螢光面の任意の点に動かすために，垂直偏向板と水平偏向板を取り付け，それぞれにプラスの高電圧を印加してやれば，電子

▼図5.17　ブラウン管の構造図

ビームを振らせることができます．

これは，すでに第2話の電界中の電子の動きでもお話ししたことです．

例えば，図5.18において，水平偏向板に(a)のような電圧を印加しますと，電子ビームは電極の電圧の影響を受けて，(b)のように変化し，輝点は，ブラウン管の螢光面を一方向に移動します．

この結果，螢光膜の残光時間と，人間の眼の残像性のため，螢光面上に，細い一本の線を描きます．

▼図5.18　ブラウン管の水平偏向板の制御

▼図5.19　ブラウン管の水平，垂直偏向板の制御

垂直偏向板も，水平偏向板と同じ動作をしますので，両偏向板に，図5.19の(a)，(a′)の電圧をそれぞれ加えてやると，螢光面上では，(b)のような一本の線を描きます．

このようにして，垂直偏向板の印加電圧によって，螢光面上のどこへでも輝点をずらすことができるわけです．

これが，ブラウン管の基本的な動作原理です．

4.3　ブラウン管オシロスコープの動作原理

図5.20は，ブラウン管オシロスコープの基本動作を示すブロックダイヤグラムです．

この図では，ブラウン管を中心に，波形を描かせるための回路が接続されています．

普通，波形を観察する場合，垂直偏向板には，波形を見ようとする電気信号を，電圧として加え，また，水平偏向板の方には，左から右へ定速度でふらせるための電圧を加えてやります．

このように，一定速度で輝点をふらせることを，掃引（Sweep）するといいます．

水平偏向板には，図5.21に示す，ノコギリ波が加えられ，電子のビームを左

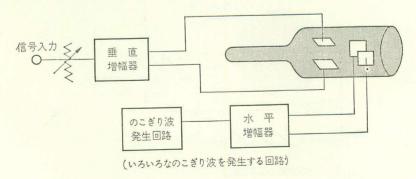
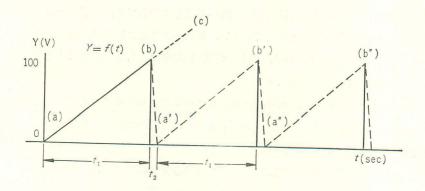
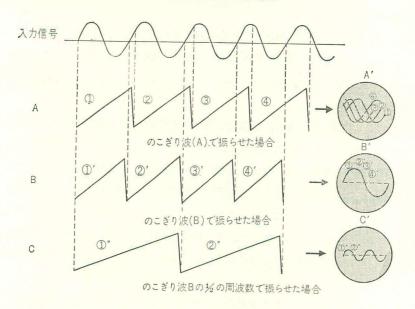
▼図5.20　ブラウン管オシログラフの構成図

▼図5.21　ノコギリ歯状波

▼図5.22　ブラウン管オシロスコープによる正弦波の観察

から右へ，定速度で振らせます．

図5.21において，(a)点では，輝点は螢光面の左端にあり，電圧が(b)点に向って直線的に上昇するにしたがい，輝点も左から右の方向に移動し，(b)点

では輝点が右端に移ります．

引続き，(b)点から点線の(c)方向へ電圧を印加しても，電子ビームは螢光面から極端に右方向にはずれてしまい，輝点が出てこないので，輝点が右端にいったとき，点線(b)—(a′)，つまり時間 t_2 で素早くもとの左端にもどり，また左端から掃引をくり返します．

いままでの説明から，水平軸には，ノコギリ波を加えてやりますが，垂直軸に入る信号の周波数により，ノコギリ波の左から右へ掃引する時間も合せて変えてやる必要があります．

これを受け持つのが，図5.20の，ノコギリ波発生回路です．

垂直軸には，ブラウン管の螢光面上の振れを適当な大きさにするため，入力信号が小さい場合には大きくする垂直増幅器を，また，大きい場合には小さくする減衰器があります．

ノコギリ波発生回路の動作をもう少し詳しく説明します．

オシロスコープで各種の波形を観測する場合，観測する信号の入力周波数とノコギリ波の周波数を，常に一定の関係に保つことで，波形を止めて見ることができます．

例えば，図5.22のように，正弦波を観測する場合，入力信号をAのノコギリ波で水平掃引しますと，入力信号とAのノコギリ波とは，繰り返し周波数が違うため，ブラウン管には，1回目の水平掃引と，2回目，3回目，4回目とそれぞれ掃引ごとに波形の始まる点が違って観測され，図5.22A′画像のように非常に見にくい波形となってしまいます．

そこで，ノコギリ波Bのように，入力信号と同じ繰り返し周波数で，水平掃引しますと，ブラウン管面にはB′画像のような，1つの安定した正弦波が観測できます．

これは，入力信号とノコギリ波のスタート点が，すべて合っているためで，①～④の水平掃引に対して，ブラウン管上では，常に同一波形となって観測されます．

したがって，掃引周波数を入力周波数に対し，整数分の1倍にとってやれば，

B′画像のように，静止した正弦波が観測できます．

このノコギリ波発生回路の周波数を変えて，入力波形を静止して見ることを同期をとるといいます．

しかし，ここで1つの問題が出てきます．

それは，入力信号が正弦波交流のような周波数が一定な連続波形であったので，それに合せて同期をとって観測しましたが，入力信号が不規則な周波数を持った波形や，1回だけしか起こらない過渡現象，また波形の一部を拡大したい場合は，従来のオシロスコープでは，いちいち同期をとることができず，観測できません．

そこで考えられたのが，シンクロスコープなのですが，次に，このシンクロスコープについて説明しましょう．

4.4　シンクロスコープの基本的動作

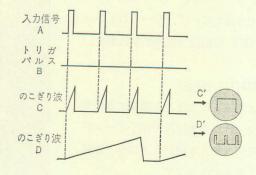
従来のオシロスコープとシンクロスコープとの大きな違いは，掃引の方式にあります．

前者が入力信号に掃引周波数を変えて，強制的に同期をとるのに対し，後者は，図5.23のように，入力波形が入るごとに，掃引回路が動作するように，考えられていて，入力信号がこないときは，掃引回路は休んでいます．

▼図5.23　シンクロスコープの同期

シンクロスコープの掃引方式を，トリガー掃引方式といっています．

これは，入力信号が入ったとき，トリガーパルスを発生させ，これで掃引回路を動作させるためです．

トリガー掃引方式によれ

ば入力信号の同期と掃引波形の時間とは，無関係に選ぶことができますので，図5.23のCトリガーによるC′画像のように，波形を拡大したり，また，Dトリガーによるの′画像のように，掃引を遅くして全体を見ることも簡単にできます．

したがって，不規則な波形がきたとしても，同期がとれるわけです．

この他に，シンクロスコープの特長として，直流から高い周波数まで，広い範囲の入力電圧の値や周波数も測定できます．

また，特殊なシンクロスコープとして，2つの入力信号の波形を，1つのブラウン管面で観測できる2現象形や4現象形，および単一な現象を，特殊ブラウン管を使用して長時間記憶することのできる，メモリシンクロスコープや，さらに，非常に高い周波数まで観測できる，サンプリングスコープなどがあります．

4.5　ブラウン管オシロスコープの取り扱い方

■A　パネル面ツマミの説明（図5.24 参照）

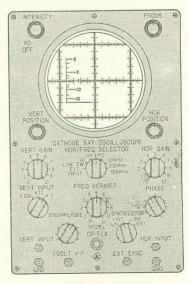
INTENSITY（輝度）

ブラウン管のスポット（輝度）の明るさを調整するもので，右へまわすほど明るくなります．

このツマミは，一般に電源スイッチを兼用していて，左へまわしきったOFFの位置で電源が切れます．

▼図5.24　ブラウン管オシロスコープのパネル

FOCUS（焦点）

スポットの大きさを調整するツマミで，ほぼ中央付近で電子ビームが螢光面に焦点を結び，スポットの直径が最小になります．

VERTICAL POSITION, HORIZONTAL POSITION

スポットの位置（position）を，垂直（vertical）方向，および水平（horizontal）方向に移動させるツマミですが，右にまわすと，それぞれ上および右に移動します．

VERT. GAIN,　VERT. INPUT

スポットの垂直方向の振幅を調整するツマミですが，VERT. GAIN は微調整，VERT. INPUT は粗調整で，ともに右へまわすほど振幅が大きくなります．

この調整は，内部の増幅器が過負荷となって，歪を発生するのを防ぐため，VERT. INPUTで増幅器へ入る入力（input）電圧を減衰させ，VERT. GAIN をなるべく右へまわし，利得（gain）の高い位置で使用するのが望ましいわけです．

HOR /FREQ. SELECTOR

水平軸増幅器の入力を下記のように選択（select）するスイッチです．

EXT. INPUT : HOR. INPUT（水平入力）端子に加えられた外部（external）の信号を増幅します．

LINE. SWEEP : 本機の内部で，電源（line）電圧の一部を取り出して増幅します．

この電圧の位相は，後述しますPHASEツマミで変えることができます．

10/100……/500KHz : 内装の水平掃引用スイープ発振器の出力――ノコギリ波の発振周波数範囲を表わしており，5段階に分割されています．

FREQ. VERNIER

前述の HOR /FREQ. SELECTOR で選択したスイープ発振器の周波数帯を展開して，スイープ周波数を微細に調整するツマミで，右へまわすほど周波数が高くなります．

観測する波形を静止させるとき（同期をとるとき）まわします.

SYNC. SELECTOR

スイープ発振周波数を，同期（synchronizing）させる電圧を，下記のように選択するスイッチです.

−INT. ＋INT：VERT. INPUT（垂直入力）端子に加えられた観測する電圧の一部を，本機の内部（internal）で取り出し，観測波形の負〔−〕，（＋INT の時は正〔＋〕）のピークで同期をとれるようにしてあります.

LINE：電源周波数で同期をとるときに使用します.

EXT：EXT. SYNC（外部同期）端子に加えた信号で，同期をとるときに使用します.

SYNC. AMPLITUDE

スイープ発振器に加えられる同期電圧の振幅（amplitude）を調整するツマミで，右へまわすと同期力が強くなります.

同期入力が小さいと，スイープ発振器の同期が不安定になり，また大きすぎると，観測波形が崩れます.

PHASE

前述した LINE. SWEEP の電源の位相を，0°から約125°位相させるためのツマミです.

B　端子の説明

VERT. INPUT（GND）

垂直（vertical）軸増幅器の入力（input）電圧を接続する端子でGND（ground＝接地）に入力電圧の接地電位側を接続します.

GND 端子は本機のケースに接続されています.

1 VOLT P-P

垂直または水平軸増幅器の入力電圧値を知るための較正電圧端子で，本端子とＧＮＤ端子間に波高値間電圧で１Ｖ（=1V peak to peak）±10％の電圧が出ます．電源電圧が歪んでいたり，100Ｖ以外のとき，および端子間に低い抵抗（10kΩのとき，約－10％）を接続したときは誤差がでます．

EXT. SYNC

スイープ発振器の周波数を，外部同期（ext. sync）信号で同期をとるときに使用します．同信号の接地電源は，ＧＮＤ端子に接続します．

HOR. INPUT（GND）

外部からの電源を水平（horizontal）軸に加えるときに使用する端子でＧＮＤ，端子は，VERT. INPUTと同じケースに接続されます．

■C　取り扱い方

通常のブラウン管オシロスコープで観測できる交流電圧は，周波数約10Hz～4MHz，電圧約20mV以上ですが，高い周波数成分を含むパルス波形や矩形波，三角波などの測定の場合は，もっと広い周波数帯域を持つオシロスコープが必要です．

（ｉ）観測波形を VERT. INPUT 端子に接続します．

（ii）HOR/FREQ. SELECTORを，10………500KHzのどれか（観測波形の周波数が判っていれば，その整数分の１を含む位置）に選びます．

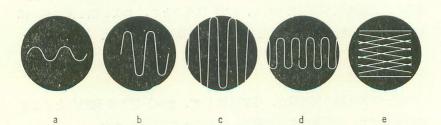
(iii) SYNC. SELECTORは，スイープ周波数を観測波形の周波数で同期させるため，－INTまたは，＋INTのいずれかに選びます．

(iv) SYNC. AMPLITUDEは，ほぼ中央にします．

（ｖ）FREQ. VERNIERを（必要があればHOR/FREQ. SELECTORも）調整して波形を静止させます．

図5.25 a（c）は，垂直の振幅が，小さい（大きい）場合で，VERT. INPUT および VERT. GAIN の両ツマミで，bのような適当な大きさに調整します．

▼図5.25　ブラウン管オシロスコープで観測できる交流波形

a　b　c　d　e

水平方向の振幅は，HOR. GAIN で調整します．

d（e）は，スイープ周波数が低い（高い）場合で，HOR/FREQ. SELECTOR および FREQ. VERNIER の両ツマミで調整します．

D　P-P 電圧の測定

スポットの振幅は，入力電圧に比例しますから，内蔵している標準の1VOLT P-P の電圧の振幅を測定した後，交流電圧の正のピークから，負のピークまでの電圧（peak to peak を略して P-P）を測定することができます．

1VOLT P-P 端子を，VERT INPUTに接続して測定したとき，両者の振幅比が大き過ぎて，直接の比較がむづかしいときは，VERT. INPUT ツマミが左より約1/100，1/10，1/1の減衰器であることを利用して，1VOLT P-P 信号の減衰，または測定電圧の減衰をして測定します．

E　電流波形の観測

電流波形を観測するには，これを電圧に変換させるため，電流の通路を切断し，ここに抵抗を接続して，この両端に表われる電流に比例した電圧を観測します．

抵抗値は，観測に必要な電圧が得られる範囲で，なるべく低い値を選び，回路への影響を最小にします．

索　　引

【あ】

【か】

【さ】

【た】

【な】

【は】

【ま・や・ら・わ】

疑問にこたえる
機械のエレクトロニクス ①《実用基礎編》

昭和47年6月15日　初版第1刷発行
昭和54年10月5日　初版第15刷発行

(定価はカバーに表示してあります)

著　者　東芝自動化推進グループ
(代表　川　井　秀　夫)
発行者　片　岡　巖
発行所　株式会社　技術評論社
東京都千代田区平河町1-4-12
TEL　03(262)9351
振替口座　東京　0-76098
印　刷　新　製　社　印　刷
製　本　長　谷　川　製　本

疑問にこたえる

機械のエレクトロニクス ①

実用基礎編

東芝自動化推進グループ
川井秀夫
渡辺清司
石野宏
林保
塩野入好夫

技術評論社

¥1500